

金型考古学

セルロイド金型に見る プラスチック成形の ルーツと先人の知恵

佐藤功技術事務所 所長

佐藤 功 Isao Seto

〒212-0052 川崎市幸区古市場1756-2-607
TEL(044)533-7890

第11回 圧搾金型製作法 その1

第1回¹⁾で紹介した圧搾金型のキャビティは精緻、微細にできている。これを直彫りされていたと聞いていたので彫刻能力に驚いた。圧搾成形は髪飾りなど身装品の成形から始まったので、この分野で広く使われていた金銀、さんご、べっ甲などの高度な彫刻技術が活用できたおかげだ。最近、アンダーカット部は鋳造も活用されていたことを知った。そこで、鋳造法の概要を報告する。

彫刻と鋳造

圧搾成形では大胆なアンダーカットが行われているので、図1のAのような部分にどうやってノミを入れたか、不思議だった。そんなことを考えているとき、かつて金型をつくっておられた方の証言を伝え聞いた。それによると、このような金型はろう細

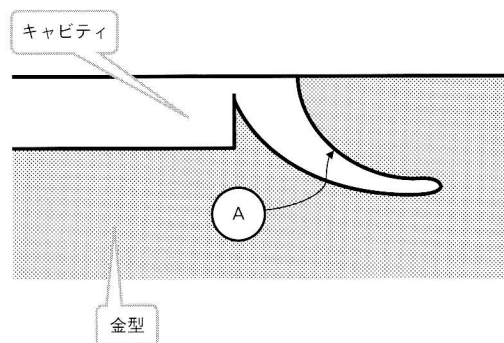


図1 アンダーカット構造例

工でマスター（雄型、つまり、成形品と同じ形状）をつくり反転させていたという。

ろうでマスターをつくる手法は、現代では「ロストワックス」として精密鋳造の一手法として知られている。場合によっては「消失中子」などと言われて、ろう以外の材料が使われることもある。この方法は希望する製品形状のマスターをろうでつくり、砂に埋め込む。この状態で湯（溶融した金属）をマスターめがけて注入する。すると高温でろうが溶けて湯と入れ替わる。砂の部分は変化しないから、マスターと同形状の製品が得られる。

ポイントはマスターと湯の入れ替えだ。ろうのマスターは高温の湯に出会うとたちまち溶け、砂型に浸透し、容易に湯と置き換わる。中子に発泡ポリスチレンを使うこともある。発泡材は高温の湯と出会うと瞬時に燃え、湯で置換される。

ロストワックス法の歴史は古い。仏像、仏具の製法として飛鳥時代にすでに日本に伝えられており、今でも仏像、仏具の製作に使われている²⁾。古代には蜜ろうと松脂を混ぜて融点を調整し、加工しやすくしたものでマスターをつくった。ろうは彫刻も接合も簡単にできるため、さまざまな加工法が可能だ。塑性加工も彫刻もできる。部分的につくっておき、組み立てることも、表面に微細な模様を彫り込むこともできる。

圧搾金型の製作にロストワックス法を適用するには工夫がいる。単純な転写ではろうマスターと同じ形状の製品ができてしまうためだ。つまり、何らかの形でもう一度転写し、陰陽反転させないと「型」にはならない。

転写プロセスの推定

転写プロセスに関して追加ヒアリングを行った。その結果をまとめたものが図2だ。よくわからない部分もあるが今のところこのように推定している。

まずろうでマスターを製作する。これは彫金などでよく行われている方法だ。これを液状のアルギン酸に入れ、冷却して固め、アルギン酸製の型を得る。

表に関連する転写材の性状、特性を示したが、アルギン酸は寒天と似た天然物の水系ゲルだ。水系で安全性が高いため歯床の型取りに使われている。寒天を思い浮かべていただければわかると思うが、高

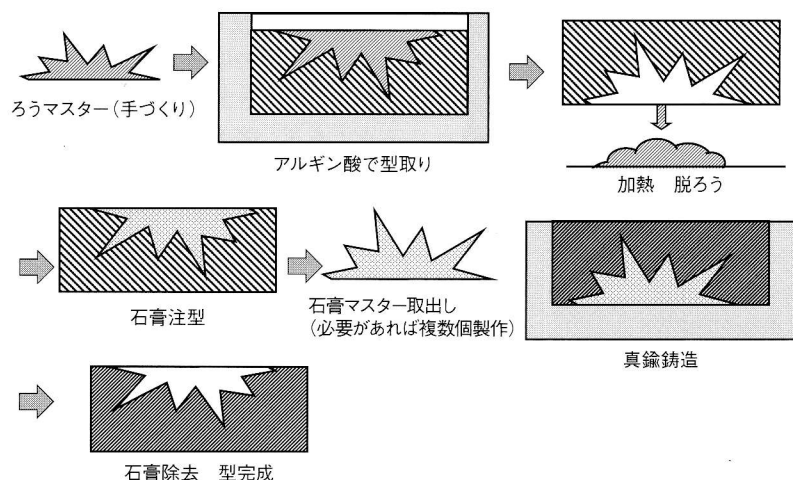


図2 鑄造金型製作の推定プロセス

温になると水分が蒸発し変質してしまう。したがって、アルギン酸製の型に真鍮を直接鑄込むことはできない。ロストワックス法ではろうの除去は高温の湯との接触によりろうが溶け、砂型に吸い込まれて消失する。しかし、アルギン酸は親水性なのでろうを吸収することはできない。このため、アルギン酸が固まった後、加熱しろうを溶融させ、取り出していたと推定される。

次いでアルギン酸型に石膏を流し込み、石膏のマスターをつくる。石膏は工芸などの型取りに広く使われており、結晶水を取り込んで固まる。しかし脆いので転写後に取り出すとき、アンダーカット部は破損してしまう。相手が柔軟なアルギン酸型ならば型の方を変形させてマスターを取り出すことができる。

最後に石膏マスターから真鍮型をつくる。石膏は耐熱性があるので溶融した真鍮を流して金型を得ることができる。ただし、真鍮も石膏も固くて脆いので、出来上がった真鍮型から石膏を除去するのは難しく、砕いて取り出すしかない。

実際の生産では複製に対応する必要がある。多数個取りの金型をつくる場合、あるいは型を複数つくる場合、マスターを複数つくることはできないので、工程のいずれかで複数個転写ができることが必要だ。表に示したように、本工程で使用した型取り材でアンダーカット部が破損しないで分離できるのはアルギン酸のみなので、必要な場合はアルギン酸／石膏

表 転写材の性状、特性

転写材	柔軟性	離型法	固／液化原理	備考
ろう	脆	加熱融解	溶融／凝固	低融点
アルギン酸	柔	物理的	ゾル／ゲル化	脱水で変質
石膏	脆		結晶水の着脱	金属鑄造可能
鑄造用砂	脆		水で流動化	

の段階で複製したものと思われる。ただし、アルギン酸の強度や破断伸びはそんなに大きくないこと、長期間の保存がきかないので、簡単な作業ではなかったことが推察される。

アンダーカットの処理は鑄造を併用しても簡単ではない。このため、石膏、ろう、アルギン酸という特性の異なる型取り材を巧みに利用して対応していることがわかる。

☆

経験者の話をうかがえたことで、巧妙な型製作法を知ることができた。一度失ったものは後日知ろうとすると大変な努力を要する。記録することの大切さを痛感した。

参考文献

- 1) 佐藤功：圧搾金型、型技術、Vol.33、No.1(2018)、p.78
- 2) 日本の美術 No.305—金工、至文堂（1991）、p.41

金型考古学

セルロイド金型に見る プラスチック成形の ルーツと先人の知恵

佐藤功技術事務所 所長

佐藤 功 Isao Sato

〒212-0052 川崎市幸区古市場1756-2-607
TEL(044)533-7890

第12回 圧搾金型製作法 その2

前回、圧搾金型は彫金（直彫り）と鋳造を使い分けてつくられていることを述べ、鋳造プロセスについて考察した。金型によっては両方の手法を巧みに使い分けていた。できればその判断基準を知りたい。そこで、実際の金型で直彫りと鋳造部分の違いについてまず検討した。

金型を観察すると、直彫り、鋳造以外の成形法も動員されていることがわかる。この点についても述べる。

使い分け

金型を彫るためには、まず型面に彫る位置を決め、けがきを入れる。したがって、けがきが残っている金型は直彫りされたものと判断できる。また、将来多数個取りにするため、予備のスペースをもった金型がある。これも後で鋳造というわけにはいかないので、直彫りと解釈してよい。

一方、前回も述べたように、大きなアンダーカッ

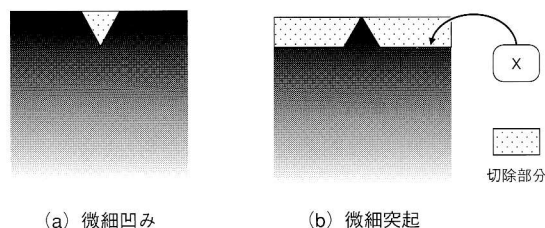


図1 細線、微点の彫刻

トがある金型は鋳造の可能性が高い。特にアンダーカットの裏側に細かい模様があるような場合は鋳造と見てよい。また、鋳造で平面、面平行を正確に出すのは難しいので、型表裏は切削仕上げをする必要がある。どれだけ削るかは鋳造の状態によるから型厚が一定しない。第6回で型厚が極めて多様であることを示したが、このことから鋳造型がかなり存在したことが推察できる。

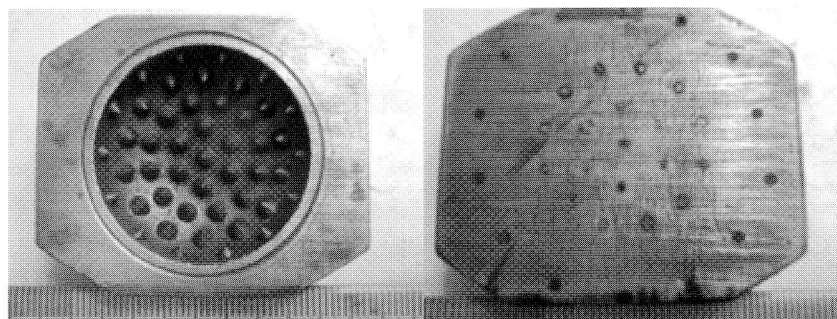
最近注目しているのは、細線や微小な点だ。図1に示すように彫刻で凹んだ模様をつける場合と、模様を突起でつける場合では切除量が異なる。凹んだ模様の場合は図1(a)のように線刻、点刻で足りるため、切除量つまり作業量が圧倒的に少ない。一方、同図(b)のように、細い線または微細な点状の突起を彫ろうとすると、突起部を残して他部を全面にわたって除去する必要があり、作業量が多い。しかも切除した面(X部分)は転写面になるため、所定のレベルに仕上げる必要がある。どうしても突起線または点がほしい場合は、マスター模様を彫り、転写した方が簡単にできる。

このように考えると、金型に微細な模様が凹になっているものは直彫りの可能性があり、凸になっているものはマスターの凹部を転写して反転させた可能性が高い。魚や龍、蛇のうろこのような部分、地模様などを見ると、金型での線や点が凹になったり、凸になったりしている場合があり、意外に有効な判定の手がかりになる。

このほか、キャビティ表面が鋳放し面であることがわかれば鋳造だったと言える。また、たがね跡が残っていれば直彫りであると判断できる。しかし、多くの金型は表面が劣化しており、表面から加工法が判断できるものは少ない。このような検討から、表のような基準で各型を見て直彫りか鋳造かを判定し、定量的な整理を進めている。

表 金型に残っている製法の痕跡

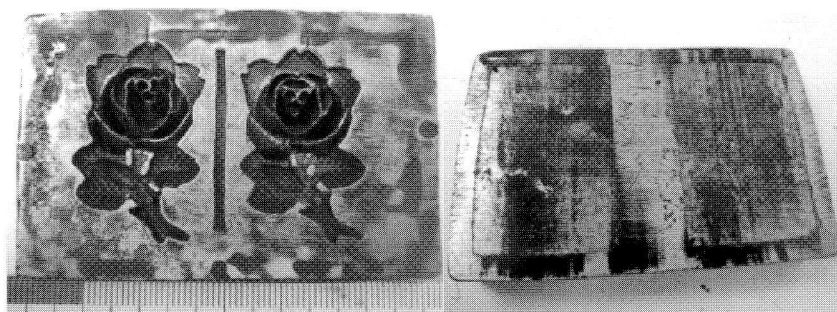
直 彫 り	鋳 造
けがきが残っている	板厚が不定
型面に増設予定スペースがある	深いアンダーカット
微細彫り込み	アンダーカットの裏の彫刻
たがね跡	凸線、微細突起



表側

裏側

図2 部品を取り付けた金型の例



意匠側

裏側(低融点金属でバックアップされる)

図3 電鍍金型の例

ほかの製法

1. 分割製作・組立て

プラスチック躯体やコネクターで穴や突起が複雑に入り組んでいる金型は分割して製作し、寄木細工のように組み立てることが多い。圧搾金型では多くが一体で構成されているが、別につくった部品を後で取り付けた金型もある。その例を図2に示す。この例ではキャビティに多数立っている円錐型の突起を別部品でつくり、下穴をあけたキャビティ面に組み付けている。組付け方は圧入だと思われる。突起裏側に、補修時に部品を外すための小孔が設けられている。

なお、金型の突起は成形品では凹みになる。図2はブローチのベースで、各凹みにガラスまたは別に成形した模造宝石を接着して仕上げられた。

2. 電鍍法

数は少ないが、電鍍と思われる金型もある。図3

のように真鍮の枠に電鍍された銅のキャビティが張り付けられており、裏側を低融点金属でバックアップしてある。損傷が激しいものも多く、耐久性が劣るにもかかわらず、頻繁に使われたことが推定される。

電鍍型ではマスター(電極)を電鍍後に外す必要がある。第7回で触れたアンダーカットを克服する必要がある。電鍍膜は1mm程度なので、変形しないよう慎重に扱う必要がある。マスターを取り出すことを考えると、前回述べたアルギン酸が使われた可能性がある。

☆

前回と今回に分け、圧搾金型の製作法について考察した。まだまだわからないことが多い。今後は、金型ごとの製法を考察し、これを積み上げて当時の金型製作の考え方を明らかにしたい。

金型考古学

セルロイド金型に見る プラスチック成形の ルーツと先人の知恵

佐藤功技術事務所 所長

佐藤 功 Isao Sato

〒212-0052 川崎市幸区古市場1756-2-607
TEL(044)533-7890

第13回 パカ用金型

吹き込み成形の金型を調べていて、図1のような、両面に顔のあるサンタの金型を見つけた。よく見るとキャビティ周りの食い切りがない。これでは中空体がつくれない。調べてみるとこれは「パカ」

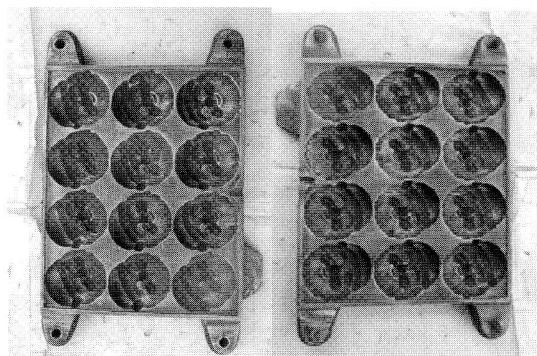
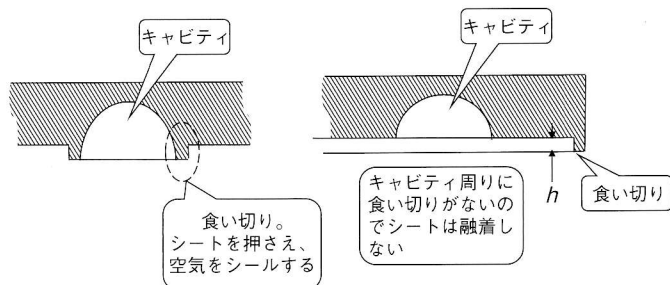


図1 サンタの金型



(a) 吹き込み金型

(b) パカ用金型

図2 吹き込み金型とパカ用金型

という成形法で、プラスチック成形の圧空成形、真空成形に相当することがわかった。今回はこの金型を取り上げる。

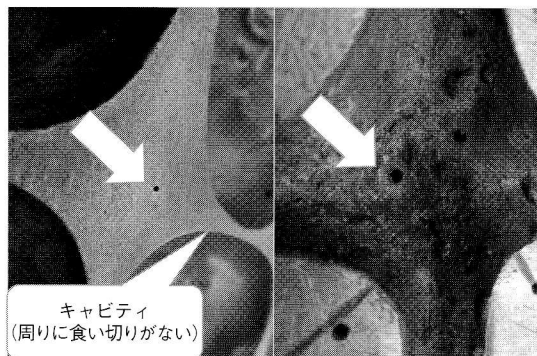
吹き込み成形の拡張

通常の吹き込み金型は、図2(a)のように食い切りが各キャビティ周りについている。食い切り部は吹き込んだ空気をシールし、2枚のシート同士を押さえつけて融着させ、キャビティごとに中空部を形成する。一方、パカ成形では、同図(b)に示すようにキャビティ周りに食い切りがなく、型周囲にある。このため、キャビティ周りでシールされず、融着が起きない。成形後シートを2枚に切り離し、各キャビティに相当するところを切り取り、製品にする。

板を絞る成形は第2回で取り上げた、型締め成形で行うのが普通だ。パカは小型で板厚の薄いものが多いように見受けられるので、使い分けがなされていたものと推測される。この成形法はプラスチックの熱成形に相当する。熱成形はメス型1型のみを使用して成形するが、パカでは上下2型を用い、両側で成形している。射出成形のスタックモールドのような生産性が高い成形をセルロイドでは行っていたことになる。

パカ用金型の特徴

パカ用金型は上下型板のキャビティが独立しているので、配置は違っていてもよいと思うが、必ず対向して配置されている。これはファミリー取りの場合も同様で、例えば恵比寿と大黒をファミリー取りにしている場合は、恵比寿の反対側には必ず恵比寿が来るようになっている。上下を同じマスターでつ



表側

裏側

図3 非キャビティ部に空気抜きがある例

くと金型を合わせたときに左右が反転する。このような金型は見つかっていない。

食い切りの高さ [図2(b)の h] は一定していない。1~2mm程度で、平均すると約1.5mmだった。上下型で高さが違う場合もある。これは铸造後、平面を出す過程で差がついたものと推定される。上下の板が接触して癒着することは好ましくない。これを防ぐために、図3に示すようにキャビティでない部分にも空気抜きの穴を設けた例がある。

用途

意匠を見ると、七福神、だるま、招き猫、宝船など縁起物が多い。福笹にぶら下げる場合は両面意匠が必要だが、熊手のように部品を取り付ける場合は意匠が片面だけでよいので、このような片面意匠の成形品が使われたものと推定される。それ以外に半球、円盤、楕円体など単純な形状のものも多い。これらはガラガラ、オルゴール、起き上がり小法師など玩具の部品だと思われる。

後加工

図4のように切り離す前に絵付けした中間製品が残っていることから、切離しは絵付け後に行われたことがわかる。絵付け作業の便宜を図ったためにこのような工程になったのだろう。

ほかの例

図5のようにオス、メス型を組み合わせた金型もある。オス側が鉛合金で铸造されている点でもユ

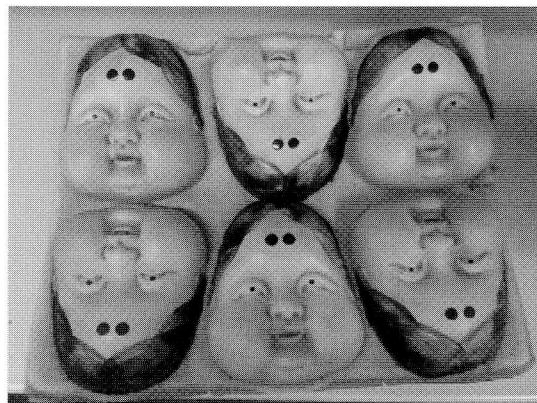


図4 パカ成形品の例 (切り離す前に絵付けされている)

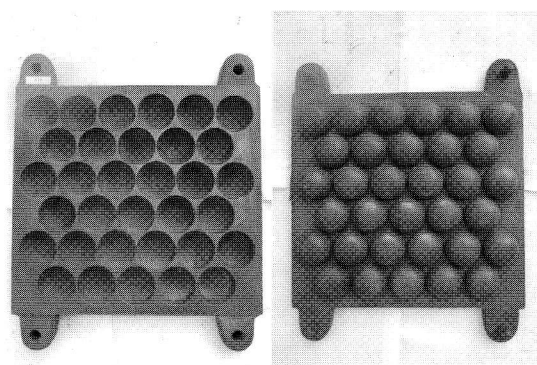


図5 圧搾成形のような成形を行う金型

ニークだ。この金型では空気の吹き込みは不要で、吹き込み金型とは言えないかもしれない。また、シートを1枚ずつ成形するので生産性が悪い。この金型がパカ、型締めとどのように使い分けられていたかは今後の検討課題だ。

☆

プラスチックの熱成形のような成形は、セルロイドでは型締め成形の領域だ。この分野をキャビティごとの食い切りをしないことで吹き込み成形に取り込んだ例を述べた。型締め成形が文具、台所、洗面器のような日用品を対象にしていたのに対し、吹き込みは玩具、縁起物が中心なので、顧客が異なることが大きな要因になっていたものと思われる。しかも、上下2面が同時にできるという生産性の高い成形法になっている点も興味深い。

「金型考古学」

セルロイド金型に見る プラスチック成形の ルーツと先人の知恵

佐藤功技術事務所 所長

佐藤 功 Isao Sato

〒212-0052 川崎市幸区古市場1756-2-607
TEL(044)533-7890

第14回 吹き込み金型の 空気流路

流し方の分類

第3回で述べたように、吹き込み成形ではセルロイド板2枚を金型に挟み、板の間に空気を吹き込む。ほとんどの金型が多数個取りなので、吹き込み口から入った空気はキャビティからキャビティへと伝わり、全キャビティに送られる。

空気流れの例を図1に示す。この金型では吹き込み口から入った空気はまず2つのキャビティに分配される。次いで右側のキャビティからは横方向に流される。これで1列目のキャビティにはすべて空気が通ったことになる。後はそれぞれのキャビティから図の下方向に向かって直列に流れていく。

この金型では最初に横方向に分配した後は吹き込み方向に次々流れ込んでいる。このように、吹き込み方向と同方向に流す方式を図2(a)のように模式

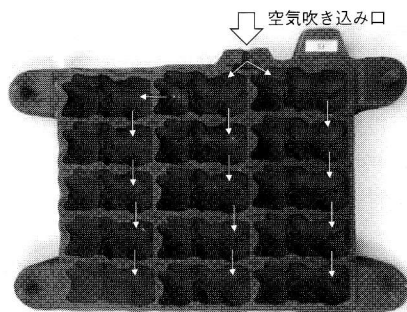


図1 吹き込み金型の空気流れの例

化し、「直行型」とした。おそらくこのタイプが最もオーソドックスな流し方であろう。これに対し、図2(b)のように吹き込み方向にまず流し、そこから直角方向に流す方式を「横行型」とした。

実際の型をあたっていくと、図2(c)に示すような斜め方向が優位なもの、図2(d)のように分配点をもち放射状に分配する方式もあり、それぞれ「斜行型」、「放射型」とした。

図2(a)~(d)のタイプは空気吹き込み口からキャビティを直接結んでおり、ランナーのような空気を流すための専用の流路をもっていない。空気の均一な流動を考えると、型面に圧力損失の少ない空気溜まり、いわばヘッダーを設け、そこから各キャビティへ最短距離で引けば圧力も加圧タイミングも差が小さいように思う。模式的に描くと図2(e)のようになる。この方式は型面スペースをとるが、そのような金型が現実にあるので、第5の類型として「ヘッダー活用型」を加えた。

量的調査

上述した分類法に従い、保有型を調べた。その結果を表に示すように、ほとんどの金型を当てはめることができたが、型面の位置によって方式を変えているものが10型あり、これらは複合型として分類した。また、大型成形品で、1型1キャビティのもの

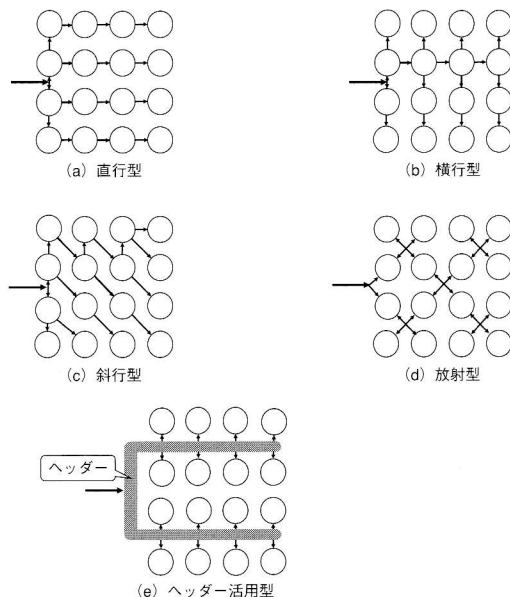


図2 空気流入法の類型

表
空気流入法の
分類

タイプ	事例数	割合
直行	63	56.76%
横行	13	11.71%
斜行	4	3.60%
放射	12	10.81%
ヘッダー活用	8	7.21%
複合	10	9.01%
単一型	1	0.90%
合計	111	100.00%

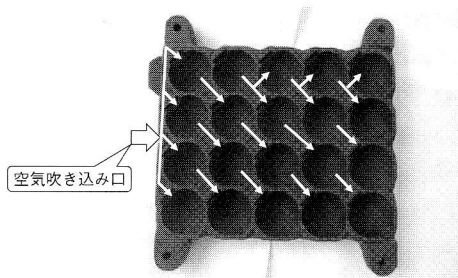


図3 斜行型流路をもった金型の例

のが1型あった。

表を見ると、図1に例示した直行型が過半を占め、このタイプが原則であることが推察できる。また、横行型は空気吹き込み口と型面の配置の都合で縦横が入れ替わったものであり、13型あった。直行、横行を合計すると約70%になる。

斜行の典型的な例は提灯だ。図3に示すように、型面効率から、キャビティが斜めに配列されている。提灯は蛇腹部分に空気吹き込み口が残るのは好ましくない。そこで上下のフランジ部分に吹き込み口を行くようにしたため、斜行となったのだろう。

図4はだるまの例だ。だるまは大小、いくつかの金型が残っている。金型を見てまず気がつくのは、1つおきに天地をひっくり返している型面配置だ。型面をできるだけ小さくして熱効率、材料効率を向上させようとする意図が感じられる。空気吹き込み口は横底面と鉢巻の結び目に限定されている。だるまは表面が平滑なので、できるだけ目立たない位置を選んで吹き込み口を設けている。なお、放射型の分配を行うと、1つの口から入った空気を2~3方向に均等に分配する必要がある。だるまの丸い外形で囲まれた部分がヘッダーの役目をし、各方面に行く空気流路の圧損を平準化させている。

図5に例示した金型は、玩具の部品として使われる球体の成形に用いられたものだ。型合わせ面は

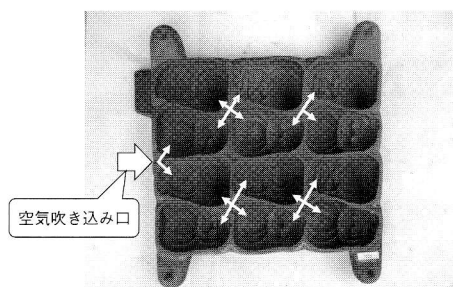


図4 放射型流路をもった金型の例

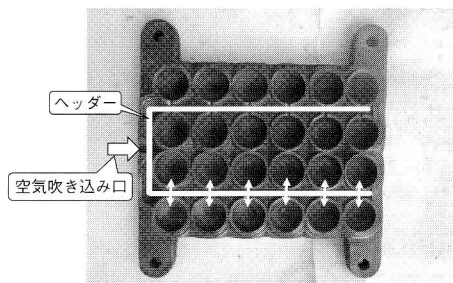


図5 ヘッダー活用型の例

円形なので、最密充填は正三角形の頂点になるような並べ方だ。しかし、この金型は直角平行を重視した配置になっている。この金型はヘッダーを全面的に設けている。ヘッダーの両側にキャビティが整然と並んでいる。これだけ多数個取りになるとヘッダーの効果があるかもしれない。ヘッダーの設け方も両側をキャビティに隣接させ、圧力損失を小さくしている。

まとめ

これまで述べてきたことをまとめると次のようになる。

- ① 原則は吹き込み口方向に空気を流しているが、多数個取りなので横方向の流動も行っている。
- ② 型面効率を重視してキャビティ配置が決められている。
- ③ 空気吹き込み口を目立たない位置にする必要があり、空気流れ方向の斜行や放射状分配が行われる。
- ④ あまり多くないが、ヘッダーは型面のスペースを活用して設けることがある。

これから、吹き込み金型の設計にあたっては型面効率のほか、空気吹き込み口の位置が重視されていたことがわかった。

金型考古学

セルロイド金型に見る プラスチック成形の ルーツと先人の知恵

佐藤功技術事務所 所長

佐藤 功 Isao Sato

〒212-0052 川崎市幸区古市場1756-2-607
TEL(044)533-7890

第15回 末端処理

第2回¹⁾で述べたように、筆箱や石鹸箱はセルロイド板を加熱し、金型で絞ってつくる。このとき、バリ（ミミヤチリとも言う）が残るので、これを取り除く必要がある。また、洗面器のような大型製品では剛性向上を兼ねて、周囲を丸くカーリングさせて仕上げる。今回はミミ切り治具とカーリング金型を取り上げる。

ミミ切り

ミミ切り治具は図1に示すように、金属板を木に張り付けたものだ。オス、メス両型があり、この間に成形品を挟む。金属板の上を切れ刃が通過するので強いせん断力が働き、確実に切断できる。成形

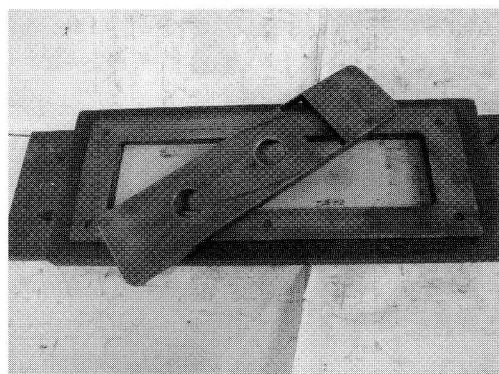


図1 ミミ切り治具の例

品に触れる部分は木製にして成形品への傷つきを防いでいる。金型には紙やガムテープが貼られたり、挟まれたりしているものもある。これは傷つき防止と切断位置調整も兼ねている。また、弾力をもたせオス治具面を刃に押し付け、切断を確実にする機能も考えられる。使ったままの姿で収納されているため、想像がふくらむ。

切断機は図2のように、長い直刃が水平に回転運動するようになっている。刃の高さと治具の高さを合わせ、刃が治具表面を移動して成形品のミミを切り取る。刃はまずメス型の上を走る。切断が進むとオス型上に移る。

金属板は鉄が多いが、刃が進入する部分だけ真鍮製にしたり、オス型の刃が進入する角を大きく面取りしたりして刃の損傷を防ぎ、刃の進入を助ける工夫がされているものもある。

カーリング

洗面器の金型は2型がペアになっている。各型の機能を調べたところ、成形とカーリングを分担していることがわかった。

成形用の金型は図3のように、(a)上型、(b)上型の周囲を取り囲んでいる上側しわ押さえ、(c)下型、そして (d)下側しわ押さえの4部分で構成されている。下側のしわ押さえは下型の周囲にばねで支えられており、加圧前は (e)下側のしわ押さえ面

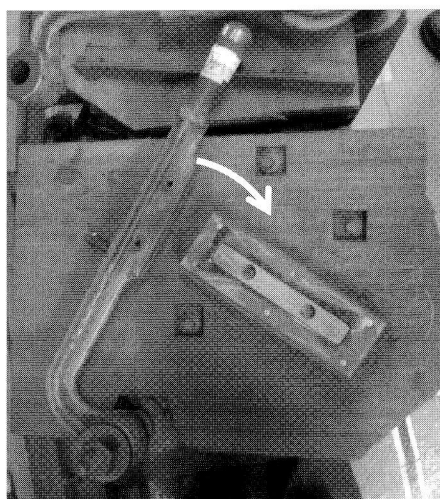


図2 ミミ切断機

(刃はついていない。治具は推定して置いた)

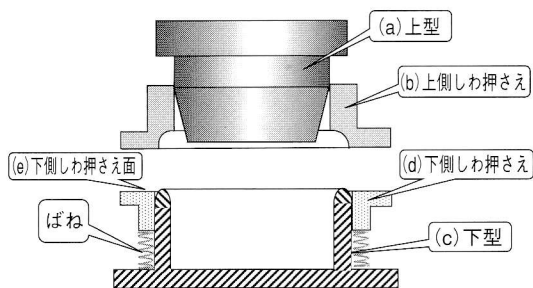
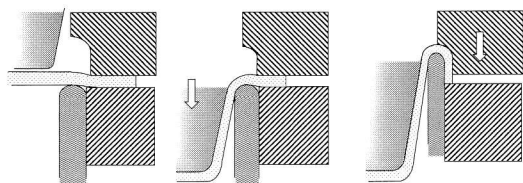


図3 洗面器の金型



①シートを装着 ②上型を下げる ③しわ押さえを下げる

図4 洗面器加工法

は下型縁部よりわずかに低く、押さえつけると約 20 mm 沈む。

この金型で、図4の①に示すように、しわ押さえの間に加熱軟化させたセルロイド板を挟み、型を閉じると②のように洗面器の容器部分下が成形できる。さらに加圧していくと、下側しわ押さえを支えていたばねが縮み、成形品縁は下型によって引き伸ばされてさらに変形する。その結果、③に示すように深さを増すとともに周囲がU字型になる。つまり成形はばねを利用して全体部分と縁部を分けて絞っていることになる。

なぜ2段に分けているかはさらに検討しなければならないが、肉厚を均一にするためではないかと思っている。しわ押さえ時の板の挙動にも興味がある。しわ押さえ表面にはポンチの傷がついており、グリップ力を調整したことが読み取れる。加工時に板を適度にスリップさせ、縁がU型に絞られたとき、材料をしわ押さえから外し、ミミが残らないように調整していたのだろう。

カーリング型は図5のような金型で、上型と下型の間に成形品を挟むようになっている。下型の縁の部分約 20 mm えぐってある。このえぐった部分を囲んでガイドがついている。ガイドは型を閉じ

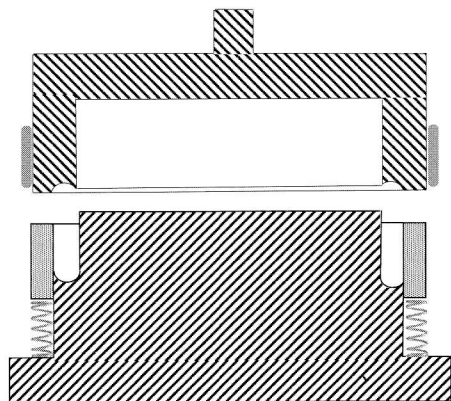


図5 カーリング金型

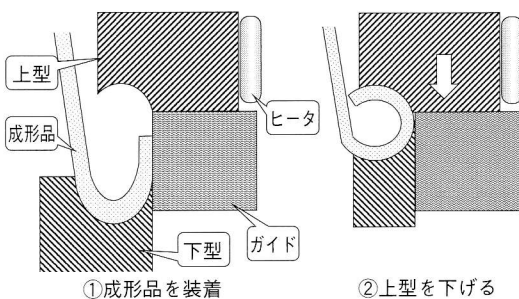


図6 カーリング金型の動作

たとき上型と勘合し、ばねで浮く。また、上型の周囲にはヒータが巻かれている。

この金型の動作は図6のように、成形した洗面器の縁をカールさせ、O型断面に加工する。この型に縁がU型になっている成形品を①のように入れて加圧すると、縁が押されて奥に変形し②のようにO型の断面になり、端部が見えなくなる。この型はオス側にヒータが巻かれているので温間で加工されたものと推定される。

☆

金型を観察することによって加工挙動を想像してきた。圧搾成形の仕上げまでを含めた工程を大まかだが推定することができた。

参考文献

- 1) 佐藤功：型締め金型、型技術、Vol.33、No.2 (2018)、p.78