

プラスチック射出成形におけるセレンディピティについて

Serendipity in plastic injection molding

吉川研一
KENICHI YOSHIKAWA

Key words: plastic injection molding, thermoplastics, thermosetting plastics, void, serendipity

1. 緒言

プラスチック射出成形は大量生産の 1 つとしてモノづくりに幅広く利用され貢献している。使われている材料は熱可塑性プラスチックと熱硬化性プラスチックに分けられる。今回それぞれに関して「閃き」と「偶然」の例として報告する。そこで共通のキーワードとして、プラスチック射出成形における不良の大きな一因である「ボイド」に焦点を当てた。稀に見るボイドの活用がセレンディピティの好例となる。以下にその内容を記載する。

2. 腕時計のプラスチック製軸受け構造：「閃き」

これは熱可塑性プラスチックに関する例となる。腕時計業界も他のモノづくり業界と同じくムーブメント（駆動部）の各部品のコストダウン対策に力点が置かれている。究極の合理化は応用できる範囲で金属部品のプラスチック化にある。そのなかで中心となる重要な部品は地板と言われる部品で、歯車、受け板、回路基板などがその上に搭載される。地板についてはこの報告例の前に日本で最初にプラスチック化を実現したことが思い出される。今回はそのプラスチック地板に搭載される歯車を受ける軸受けがプラスチック地板と一体で成形される際にセレンディピティの「閃き」を基に開発し、特許¹⁾にもなっているため、以下その報告とする。

従来のプラスチック軸受けを図 1 に示す。プラスチック地板と一体的に射出成形により作り出される軸受け構造は図 1 の断面に示すように、プラスチック地板 1 に軸受け穴 2 を設けるとともに油溜まり部 3 を備えた構造をとっている。軸受け穴 2 は貫通穴で、プラスチック地板の表面に歯車が組まれる際の入口（図 1 2a）と油溜まり部 3 との繋ぎとなる出口（図 5 10b）からなる。閃きはこの入口、出口の穴の製造法に関わる。

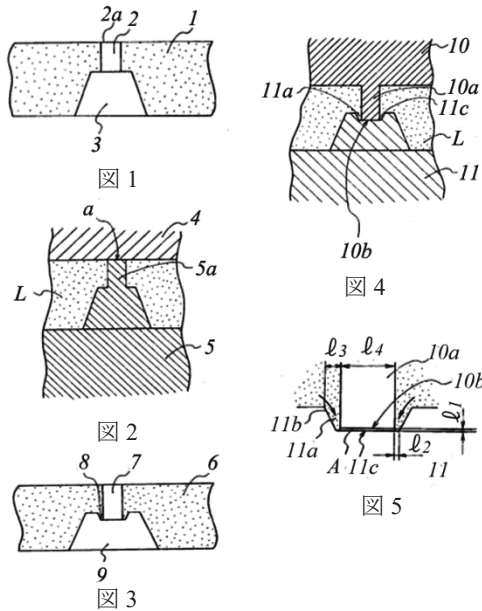
従来の軸受けの製造法を図 2 で説明する。軸受けを製造する金型構造は図 2 に示す形状の上金型 4 と下金型 5 とが型合わせ面 a にて突き当てられている。この状態で射出成形時にプラスチックが流入し軸受けが形成される。従来の射出成型時に穴出口側にとくに問題は生じないが、穴入口側は上型・下型の突き当てにより形成されるため、諸所の問題が生じる。例えば、突き当てが弱いと穴（図 1 2a）にバリが発生し、突き当てが強いと金型（図 2 5a）が破損する。とくに破損の場合その都度成型機を止め金型を下し、分解し金型部品 5a を交換する。その間生産が止まり、部品代もかかり、金型の分解組立ての費用がかさむことになる。以上よりプラスチック地板における製作費はコストアップとなる。これは大幅な合理化効果を目指すプラスチック地板を生産していくうえで大きな問題であった。穴バリ発生および金型破損がない成形技術開発に取り掛かり、多くの案をも

とに実験をしたが、なかなか成果が出なかった。改めてこの軸受けの構想案に多くの時間を割き集中した。そこで考えついた案は「逆転の発想」である。即ち入口側の穴（図 1 2a）は金型の構成を従来型の図 2 の上下型を逆にし、図 4 に示すように上金型 10 にて形成することにした。これにより従来型では上下型の突き当て方式で別体であったがそれが一体型となった。当然ながらバリは発生しない。

次にこの案による出口側の穴は従来型の入口側と同じように別体で突き当てになるので、金型の破損が発生し問題となる。新たな発想が必要となった。そこで新たな発想の基となったのは、金型内の空気や低分子材料の分解ガスの利用である。これらのガスは射出成形で未充填やボイドの原因となり排除することが成形技術の重要な課題であった。しかし空気や分解ガスを排除せず「空気・ガス溜まり」として設計的に取り込み、それを軸受け穴の射出成形時の型合わせ面に空気・ガス溜まりを設定することを構想した。射出成形時にこの空間には空気・ガスが充満しているため材料は流れ込まず、この部分に穴が成形される。このような成形ができるポイントが図 3 の環状突起部 8 の設置にある。環状突起部 8 を設けることにより上金型と下金型との間に空気・ガス溜まり用の空間（図 5 の空気層 A）の設置が可能になった。製造法を以下に記載する。

射出成形ではキャビティにある空気などのガスが、プラスチックと交換されて製品が成形される。その交換がスムーズにいかない場合、すなわちエアイベント（空気・ガス逃げ口として設けられた溝）が適切でないと金型内に空気・ガスが溜まり、成形品としてはボイド発生や未充填の不良が発生する。これらの不良は成形条件を高圧に変えて成形しても解消しない。出口の穴を形成する際にエアイベントのない構造にし、型合わせ面に空気・ガス溜まりを作ることとした。それが図 5 の空気層 A に相当する。熱可塑性プラスチックの流れる厚みの限度となる 10 μ m 程度を空気層 A の厚みとした。図 5 で熔融材料が環状突起部に入ってきた際、図 5 の 11a に相当するフローフロントは環状突起部に流れてくる間、上金型 10a の周りの多くの空気・ガスを押し集め、最後に上金型と下金型の間（図 5 の空気層 A）に押し込むことになる。図 5 空気層 A の空気・ガスは充満し、結果としてプラスチックの空気層 A への流入を防ぐ。そこで形成された未充填部が軸受けの出口穴となり、油溜まり部へつないでいる。

図 4、図 5 に示す構造をとることによりバリが発生せず金型破損しない軸受けができて連続成形が可能となり大きな効果をもたらした。



1,6:プラスチック製地板 2,7:軸受穴 3,9:油溜部
 8:環状突起部 4,10:上金型 5,11:下金型
 ℓ_1 :金型凹凸対向間隔 L:プラスチック材 A:空気

3. 成形品内のボイド回避方法:「偶然」

これは熱硬化性プラスチックに関する例となる。自動車のナビゲーション装置に使われるプラスチックレンズのボイド回避方法に関するセレンディピティである。この熱硬化性プラスチックは製造工程において水洗があるために吸水率が高い。そのことにより通常の成形では水分が水蒸気となり成形品内にボイドが発生する。ところがこの成形ではボイドが見られない。この原因は何かわからずにいた。この原因が試作時に偶然見いだされたので報告する。

この熱硬化性プラスチックの硬化反応は低温硬化反応と高温硬化反応がある。図6より低温時の硬化反応で反応熱が発生し材料は107℃になるが、水蒸気ガスは発生していない。107℃でも水が蒸気にならないのは、蒸気圧(1.38気圧)よりも成形体内部の圧力が高く、気化条件を満たしていないからである。低温硬化反応を約100s実施したあと、金型温度を150℃程度まで上昇させ高温硬化反応に入った。その際に材料温度が125℃になった時点で水蒸気ガスが一気に発生した。蒸気圧2.3気圧(230kPa)になり、周囲の材料が硬化し局所的に圧力が低下したため、ここで急激に蒸気化しガスが発生したのである。しかしそのガスが発生しているにもかかわらず成形品内にはボイドが見られない。この原因を探るべく各種実験をしていたが見いだせなかった。

そうしたなか、新規金型の試作実験をしている際に今までに考えられないランナーの動きがあった。それが図7に示す現象である。ランナー1はランナー2、ランナー3と分岐する。その際ランナー2の先にランナー4があり、ランナー2とランナー4の間に材料がない空間があった。所謂ランナー4はランナー2から分離して飛んでいきゲート部6で止まったと推察する。このような現象は今までの経験したことがない。図7のランナーの先端部4が分離したところの分離部5に水蒸気ガスのボイドが多く集まっていて、125℃になってそれらが破裂したと考えられる。破裂してランナーの先端部4がランナー本体から分離して飛んで行った現象である。

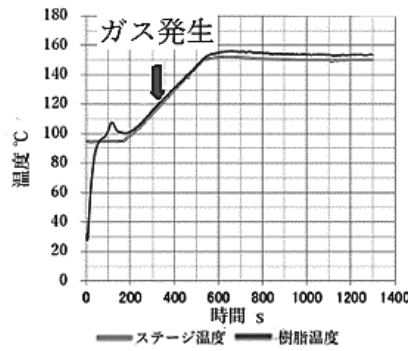
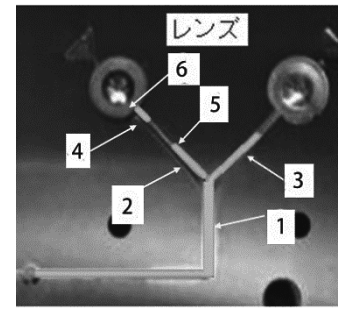


図6 ガス発生温度



1:ランナー本体
 2,3:1より分岐したランナー
 4:ランナー2から分離し、飛翔したランナー
 5:分離部 6:ゲート
 図7 ランナーの先端の飛散現象

この破裂現象はボイド発生回避の対策となっていると推察する。すなわち成形時に成形体(キャビティ内に形成されるゲル状の成形物)に約110℃で発生した水蒸気ガスの芽(ガス核)が金型からの熱エネルギーを受けてナノボイドとなり、さらに水分子の活発な活動により水蒸気ガスのボイドと成長し、ボイドはゲル状の成形体の中を樹脂との密度差に起因する浮力的効果により上方へと移動し、結果として金型の分割面付近に集積する。125℃付近でボイド内の水蒸気ガスの圧力(蒸気圧)がボイドの周囲にかかっている樹脂圧力より大きくなり(樹脂の固化により射出圧力の伝達効率が悪くなったことによる)破裂した。その水蒸気ガスは金型の合わせ面にあるバリの隙間から金型外に排出された。一方、一部の水蒸気ガスは約125℃の蒸気圧約232kPaにより、熱硬化性樹脂特有の高分子鎖の3次元網目構造に押し込まれ、1~100nmのナノボイドをとして残る。この大きさは光の波長の1/4以下となり、非常に弱い散乱は起きるが肉眼では見られない。以上より成形品としてボイドの見られない良品が得られた。

4. あとがき

今回、「閃き」と「偶然」の例を示したが、このような問題を生成AIがどのように答えるだろうか? 「閃き」に期待したが、当然ではあるが業界で否定されている不良現象を推論に展開することはできていなかった。「偶然」の例では通常は破裂という現象を応用技術として使うのは常識外であるために、「閃き」同様推論は出なかった。しかし今後アメリカが強大な資本を投下して開発する超知能のStargateプロジェクトに期待したい。現状での生成AIも進歩しているので、それを利用することは有益である。すでに大手企業ではプロジェクトが進行中である。それらのデータとセレンディピティとの関係に注視していくことも委員会活動の一貫となるのではと思われる。

5. 参考文献

- 1) 特許公報 昭59-42166



【吉川 研一】(よしかわ・けんいち)
 ・株式会社アルプスエンジニアリング
 ・e-mail: ken-yskw@dune.ocn.ne.jp