

製品形状に遡った樹脂成形部品の高精度化・低成本化

Accuracy Improvement and Lowering Production Cost in Injection Molding Based on the Intrinsic Shape of the Product

瓜生直人*

Naoto URYU

渋谷智*

Satoshi SHIBUYA

今村一馬*

Kazuma IMAMURA

狩野弘太*

Kouta KANO

要旨

近年、情報機器製品は他社との厳しいコスト競争の中、高機能化・小型化が図られ、それに伴い構成部品は高い精度を確保したまま低成本化が求められている。一方、樹脂成形部品では一般的に低成本化と高精度化は相反する要素と捉えられているのが現状である。

本稿では、射出成形における成形時の大きな不具合要因である「熱溜り」現象に着目し、本質的な要因解析を行い製品形状を含めて対策を講じることで、低成本化と高精度化の両面で同時に効果が得られた技術について、二つの事例を通して紹介する。

Abstract

In recent years, in the severe cost competition for information appliance products, higher functionality, and further downsizing has become ongoing, and as a result, the component parts have been made at lower cost while maintaining high accuracy. Currently, in resin injection molded parts, two factors, namely lowering cost, and higher accuracy are understood to conflict with each other.

In this paper, technologies, by which both lowering cost and higher accuracy have been achieved, are described citing two specific examples, by focusing on "heat storage", which is one of the major defect factors of injection molding, and analyzing intrinsic factors, and then, taking countermeasures which includes product shape.

1 はじめに

コピー機・プリンタなどの情報機器製品は近年更に高機能化・小型化がなされ、それに伴い構成部品の高精度化あるいはそれらの部品を如何に低成本で作るかということが求められている。この課題に対し構成部品の多くを占める樹脂成形部品では、それぞれの部品機能に合わせた形状要素の把握と射出成形における課題の解決に向けた具体的な対策が必要である。

本稿では部品精度や成形サイクルに大きな影響を及ぼす「熱溜り」の現象に着目し、成形時の部分的な「熱溜り」がもたらす問題の要因解析を行い、製品形状に遡って対策を講じたトナーカートリッジと駆動ホルダの二つの事例を取り上げ、その経緯と対策によって得られた効果について報告する。

2 トナーカートリッジの事例

2.1 トナーカートリッジの高精度化課題

一つ目の事例としてトナーカートリッジのトナー供給部に発生するソリについて説明する。Fig.1にトナーカートリッジの全体形状及びその断面を示す。トナーカートリッジは図に示すバッファ壁によって、トナー貯留部(断面図中バッファ壁左側)と現像バッファ部(同右側)に区切られ、上部の開口を通じて適量のトナーがバッファ部に供給されることでバッファ部のトナー充填状態がバランスされ、画像品質が保たれることを意図して設計さ

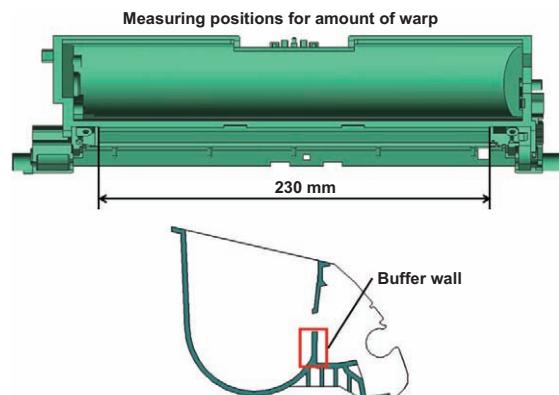


Fig.1 Total shape and the cross section of the toner cartridge

*コニカミノルタビジネステクノロジーズ(株)
生産本部生産技術センター 部品技術部

れている。従って、バッファ壁のソリによって画像品質が悪化してしまう。Fig.2にバッファ壁のソリ量の測定結果を示す。この結果からソリ量の低減には絶対値とバラツキの二つを減らす必要があることがわかる。

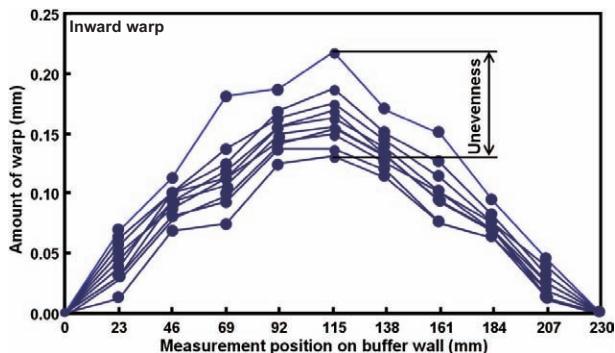


Fig.2 Actual measured value of warp on buffer wall

2.2 実験試料

ソリの絶対値及びバラツキの発生要因を調査するためトナーカートリッジ形状をFig.3の簡易箱型形状に見立てて、ソリを発生させる諸要素の抽出とその対策検討を実施した。ソリ量は箱型の長手側立壁の両側変形量を測定しその平均値をソリ量として算出し、樹脂温度はコーナー部内外の金型表面付近に熱電対を配置し測定した。

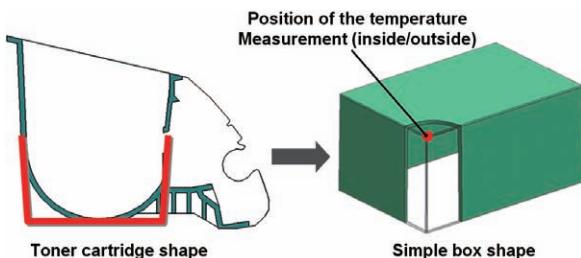


Fig.3 Replacing to simple box shape

このような箱型形状では箱ソリと呼ばれる変形が起こることが知られており、コーナー部内外の温度差によって発生する（コーナーエフェクト）ことがわかっている。この特性は熱の逃げ難いコーナー部内側に熱が蓄積し、一方で熱の逃げ易い外側との温度差が大きくなることで残留応力が樹脂内部に発生し、成形品を金型から取り出した際に応力が開放され内側に倒れ込む（ソリ）という現象である。このことを踏まえて以下の検証を実施した。

2.3 ソリのバラツキ低減

2.3.1 簡易箱型実験

まず成形品に発生するソリのバラツキについて、簡易箱型形状を用いて金型から取り出した時の樹脂温度（以下取り出し温度）とソリ標準偏差の関係を検証した。Fig.4に

その結果を示す。ソリ標準偏差は取り出し温度が高くなるに従い2次関数的に増大しており、後述する3種類の冷却回路（Fig.6）のいずれの回路を用いた場合でもソリの標準偏差はFig.4の曲線に沿う値となることから、ソリバラツキはコーナー内外の温度差の如何に関わらず取り出し温度との相関性があることを確認した。故にソリのバラツキを抑制するためには十分に低い温度で取り出すことが必要となる。

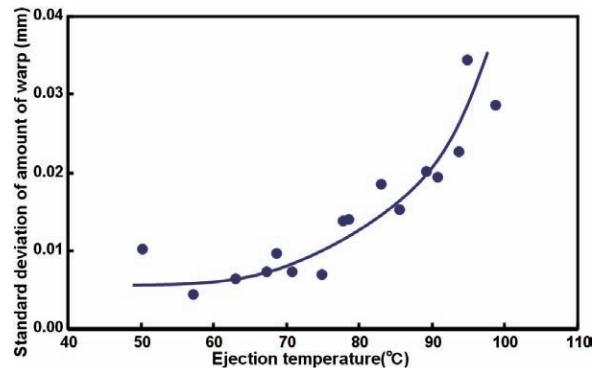


Fig.4 Relationship between the standard deviation of amount of warp and the ejection temperature

2.3.2 厚肉による熱溜りへの対策

ソリのバラツキが取り出し温度に起因することから、樹脂流動解析を用いてトナーカートリッジの取り出し温度を調査し、高温部となる形状要素の抽出を行った。その結果、標準肉厚以上の厚肉部位が取り出し温度の高温部と一致し、バッファ壁両側に「熱溜り」が存在することがわかった。

ここで、樹脂の肉厚と取り出し温度の関係について考察する。樹脂の熱伝導率は金型のそれに比べ数百分の一と非常に小さいため、樹脂内部の熱量が金型に流れ難い状態にある。つまり樹脂の持つ熱量が大きいほど冷却に時間が必要となることになり、単位面積当たりの樹脂の持つ熱量の大きさを決める樹脂の肉厚が取り出し温度に大きく影響を及ぼすことになる。前述のソリのバラツキはコーナー部周辺に配置されている厚肉部位がコーナー部内側の冷却を妨げて取り出し温度が高くなり、結果としてソリのバラツキを発生させていると考えられる。

この取り出し温度を低減させるには、金属に比べ樹脂の熱伝導率は非常に小さいため金型側の冷却効率を高めてもほとんど効果が得られない。よって解決手段は①冷却時間を延ばす②厚肉部位の形状を見直す、の2つに集約される。①では成形サイクルが延びることによりコストアップとなるため恒久策にはなり得ず、一方②では製品形状まで遡って厚肉形状を排除することで樹脂内部の熱溜りを解消できるため、最も効果的な改善策であることがわかる。

以上より、厚肉による熱溜り対策として製品設計と連携して全ての厚肉部位を取り除き、標準肉厚と同等の肉厚に変更（均肉化）した。その結果Fig.5のようにトナー カートリッジにおけるソリのバラツキを当初の1/3まで低減することができた。

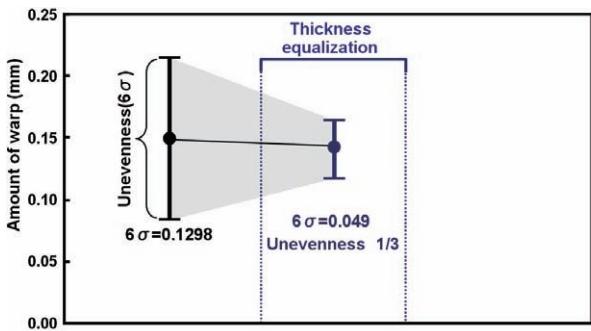


Fig.5 Amount of buffer wall warp before and after thickness equalization

2.4 ソリの絶対値低減

2.4.1 簡易箱型実験

厚肉部をなくすことでソリのバラツキを低減させることができたが、もう一つの課題であるソリの絶対値は変化が見られなかった。これは均肉化だけではコーナーエフェクトに対する改善効果が期待できないためであり、ソリを発生させるメカニズムに則した対策が必要となる。そこでソリを発生させる要因となる内外の温度差とソリ量の関係を検証するために、Fig.3 の簡易箱型形状に対してFig.6 に示す3種類の冷却回路を用いて実験による検証を行った。

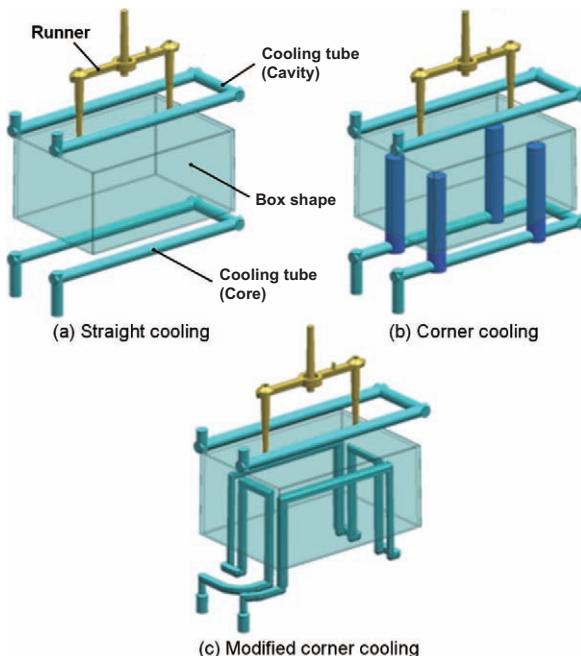


Fig.6 Variation of the cooling types

Fig.7 に実験結果を示す。横軸は成形取り出し時の成形品コーナー部内外の温度差であり、縦軸はソリ量である。(a)の直線的な回路ではコーナー内側が高温となり「熱溜り」が生じるため、コーナー内外の温度差も大きくなりそれに伴い大きなソリが発生した。コーナー付近の冷却を強化した(b)、更に冷却を強化した(c)になるにつれ温度差が低下しソリ量も低減する結果となった。このことから、コーナー内側の高温部を効果的に冷却しコーナー内外の温度差を小さくすることがソリの絶対値低減を期待できることが確認できた。

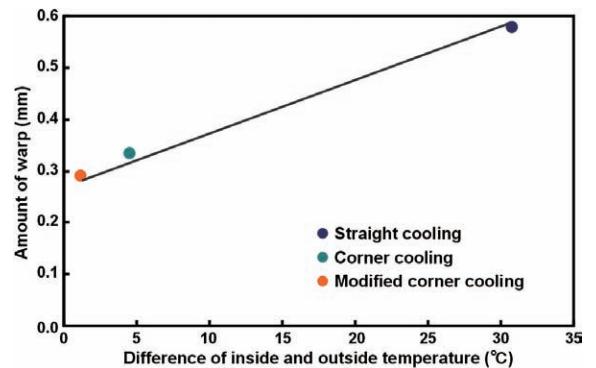


Fig.7 Relationship between the amount of wrap and cooling types

2.4.2 トナー カートリッジ金型での対策

簡易箱型形状による検証結果を踏まえ、次にトナー カートリッジ金型の冷却配管の調査を行った。バッファ壁にソリが発生し難い状態に保つには、コーナー部の温度差を低減させることが前述の通り必要条件である。しかしながら、実際の冷却配管ではコーナー内側に配置されていないため内側のみ高温となり、逆にコーナー外側が過冷却な状態で大きな温度差が生じていることを確認した (Fig.8 左)。そこで、コーナー内側は密な回路、コーナー外側は粗な回路に変更を行った (Fig.8 右)。後者に変更する際、配管の制約を取り除くために製品形状の見直しを行う必要があり、製品設計と協議して製品機能を満足した上で形状変更を実施した。このような変更を

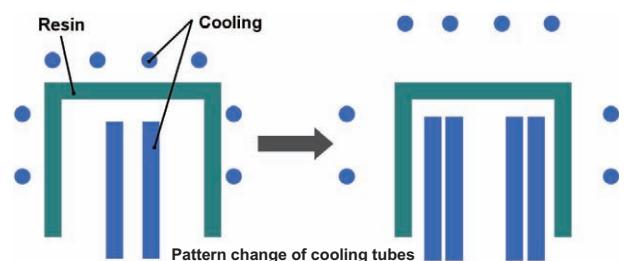


Fig.8 Cooling tube placement of toner cartridge

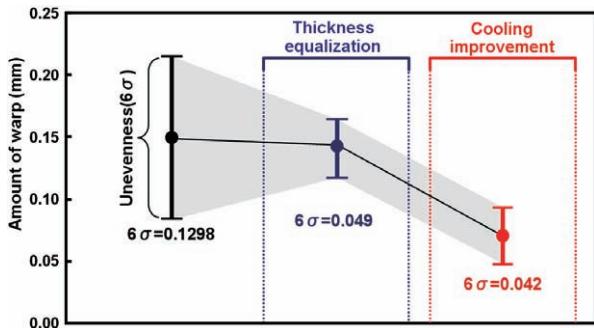


Fig.9 Amount of buffer wall before and after cooling improvement

行った結果、ソリの絶対値をFig.9 のように半減させることができた。

以上のようにトナーカートリッジのバッファ壁に発生するソリは、肉厚を均一にすることで熱溜りを排除してソリのバラツキを低減し、ソリの発生要因であるコーナー部の冷却回路を工夫することでソリの絶対値を低減した。また、両者を同時にすることでサイクルタイムを約30%短縮しコストに対しても効果を上げることができた。

3 駆動ホルダの事例

3.1 駆動ホルダの駆動軸の高精度化課題

駆動ホルダの駆動軸は従来Fig.10 左のように金属軸を樹脂ハウジングに固定し軸先端を板金側板で固定し構成されていたが、近年樹脂ハウジングと駆動軸の一体化 (Fig.10 右) によりコストダウン化が図られ、またギアを高密度に配列することにより製品の小型化が進められている。そのため、一体化された駆動軸は徐々に細長い形状となり、成形時に精度悪化を招く新たな課題が生じている。

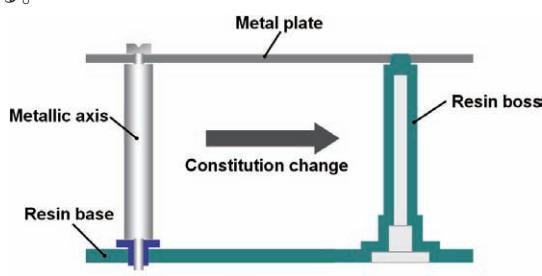


Fig.10 Single resin for lower cost

Fig.11 に成形時に不具合を生じた駆動ホルダの全体形状及び軸の断面形状を示す。この軸に発生した問題は軸の倒れであり、肉盗みが小径でかつ非常に深いことにより肉盗みを構成する金型鋼材から熱が逃げ難い蓄熱という現象が発生することに起因している。金型が蓄熱してしまうと、その周囲の樹脂が冷却され難い「熱溜り」の状態となるため、前述したトナーカートリッジの事例と同様に部品精度やサイクルタイムを悪化させる大きな要因となる。

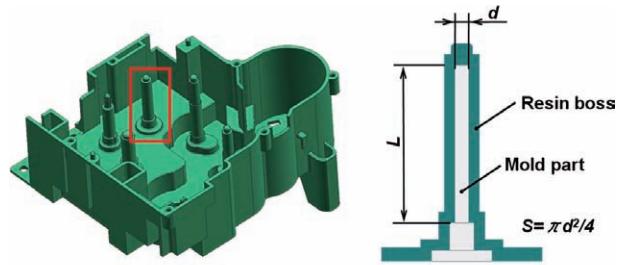


Fig.11 Total shape of drive holder and the cross section caused heat build up

3.2 軸の倒れ低減

3.2.1 倒れ発生メカニズム推定

軸の肉盗みの蓄熱の度合いは軸の設計パラメータによって決まるところから、軸の寸法と取出し温度の関係を式(1)で求めた。

$$\text{金型先端の温度: } T_1 = (W/2k) (L^2/S) + T_2 \quad (1)$$

ここでLは肉盗みの深さ、Sは肉盗みの断面積、Wは単位時間当たりの熱移動量、 T_1 は肉盗み先端部の温度、 T_2 は肉盗み根元の温度（ここでは金型温度とする）、kは鋼材の熱伝導係数である。式(1)では金型先端の温度 T_1 は、 L^2/S に比例し肉盗みの断面積Sが小さく、深さLが長くなると取出し温度が高くなることがわかる。

この式(1)の取出し温度とボスの設計パラメータ(L^2/S)の相関性を検証するため、冷却時間を3水準設定し樹脂流动解析を行った結果をFig.12 に示す。軸の設計パラメータ(L^2/S)が増大すると取り出し温度は直線的に増大することが確認できる。つまり肉盗みの深さ及び肉盗みの直径の逆数の値によってそれぞれの2乗で取出し温度の上昇に影響を与えることがわかった。

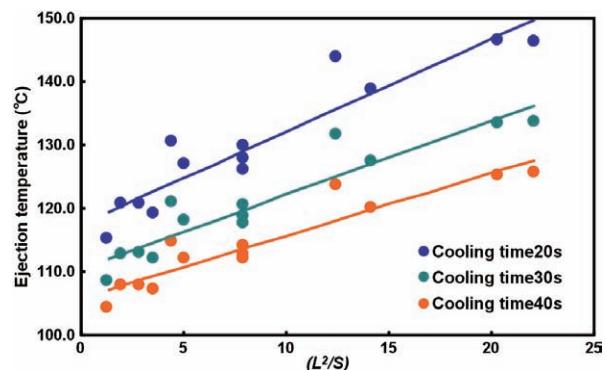


Fig.12 Relationship between boss dimensions and ejection temperature

3.2.2 駆動ホルダ形状への対策

この蓄熱による倒れ問題に対策する手段として、①肉盗み部の金型鋼材を熱伝導性の高いものに変更する②蓄

熱部に冷却回路を追加して熱量を積極的に排出する③冷却時間を延ばす④蓄熱が起こらないよう軸形状を変更する、の四つが考えられる。どの手段も使い方によっては有効な対策となり得るが、今回対象とした駆動ホルダのような比較的小径の軸形状を例に取ると、①では銅合金など高熱伝導率の型材は概して強度的に焼入れ鋼材に比べ弱く数十万shotの成形ロットを考慮すると金型破損が懸念され、②では細長い肉盛み内部に微細な冷却回路を配置する必要があり、仮に配置しても従来温調装置では管路圧損が大きいため意図する冷却効果を得られない可能性がある。③では前述の事例と同様成形サイクルが延びることでコストアップとなる。一方、④の軸の各形状パラメータの見直し方法は、製品形状に生産性を注入することができれば課題の根本を断つことが可能となるため、現実的には最も有効な手段となる。

そこで製品設計と連携しボス形状の改善を実施した事例をFig.13に示す。軸は段を持った形状をしており先端部の細い部分の蓄熱が顕著であることが算出されたため、図のように機能上必要な長さまで先端の小径領域を減らし、それより下側の部分にテーパを設け根元の太い部分に繋げる形状とした。このように変更することで部品精度を確保した状態でサイクルタイムを約35%短縮することができた。

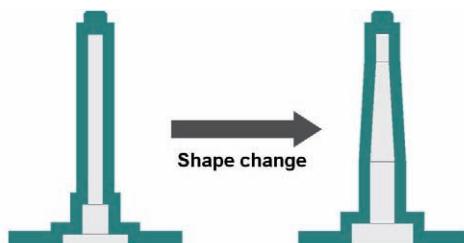


Fig.13 Shape change for heat build up reduction

以上のように駆動ホルダの駆動軸の倒れは、軸に蓄積した熱量を金型を介して排出され易い形状に変更することで熱溜りを排除でき、課題を解決することができた。また、サイクルタイムも大幅に短縮することができた。

4 まとめ

樹脂成形部品において高精度化あるいは低コスト化を実現するためには、生産上でのアプローチだけでなく開発上流から部品機能に合わせた形状対策が重要である。本稿では樹脂成形時の「熱溜り」現象に着目し、トナーカートリッジでは均肉化と冷却回路の見直しによるバッファ壁のソリ改善、駆動ホルダでは駆動軸の蓄熱部形状の見直しによる軸倒れ解消の2つの事例を紹介した。このように製品形状に遡った根本的な課題対策は、通常であれば相反する精度とコストの要求を両立できる非常に

有効な手段であり、近年高まりをみせる製品要求を高いレベルで満足するためには更に注力して進める必要がある。今後も少しづつ領域を広げながら引き続き展開していく所存である。

●参考文献

- 1) 米山 猛, 香川博之, 伊藤 強, 伊藤豊次, 岩根昭裕, 蔵本義彦, 西本清史, 楊 青, 精密工学会誌, **67**, 12 (2001)
- 2) 香川博之, 米山 猛, 伊藤 強, 伊藤豊次, 岩根昭裕, 稲城正高, 澤野孔延, 楊 青, 精密工学会誌, **68**, 8 (2002)
- 3) 瓜生直人, 型技術者会議2008論文集 (2008)