

射出成形スイコミ不良対策

Solution for Defective Painting of Injection Moldings Called "Black Patcher"

田村行男 Yukio Tamura

●MC事業本部 製造統括部 中瀬工場製造技術課

1 はじめに

モータサイクルの顔となる射出成形樹脂部品は、特に高い外観品質が要求される。塗装品については高品質感が求められ、わずかな表面欠陥も許されない。

射出成形工程は、図1に示す5つの工程より成り立っている。ウェルドライイン、フローマーク、シリバーストリーラークという表面欠陥のある射出成形素材をそのまま塗装すると当然不良品となるが、目視で表面欠陥のない素材を塗装した場合でも、塗料と素材が化学反応して空洞となって、塗料が素材に吸い込まれたように黒ずむ現象が起き、不良品となることがある。これがスイコミ不良と呼ばれる表面欠陥である。このスイコミ不良は金属の塗装には発生せず、特にABS樹脂に多く発生する。

スイコミ不良は、射出成形品表面の分子配向が大きいときに発生するということが解明されている⁽¹⁾。しかしその対策は、射出速度を遅くしたり、ゲート面積を大きくしたりという定性的なものである。また、ガラスインサート金型を使った可視化により、不良現象と金型内流動挙動との関連付けが行われているが、スイコミ不良については行われていない。そのため、スイコミ不良の対策は経験と勘に頼っており、確実なものとなっていない^{(2)～(4)}。

このスイコミ不良に対して品質工学手法を用い、恒久対策を行った。この中で、不良現象を定量的に評価する必要があるため画像処理による方法を採用し、また、その結果と金型内流動挙動との関連を考察した。

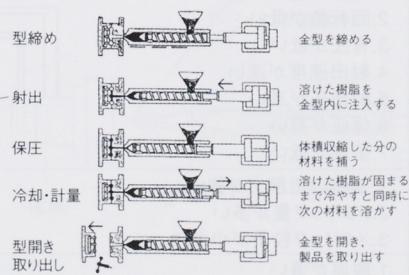


図1 射出成形工程

2 スイコミ不良発生に伴う問題点

先に述べたように、スイコミ不良とは塗料があたかも素材に吸い込まれたように黒ずむ現象をいい、ツヤビケ・クレージングと呼ばれることもある(図2)。

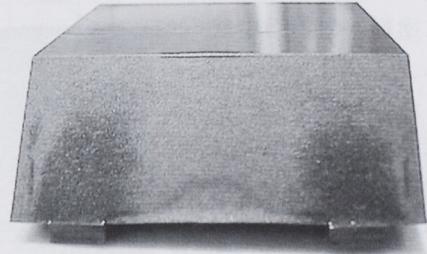


図2 スイコミ不良現象

スイコミ不良は、ロット間のバラツキで発生する場合と全数発生する場合がある。ロット間のバラツキで発生する場合には成形素材では不良が予測できず、塗装後にスイコミ不良がわかるので、修正後に再び塗装している。全数発生する場合は発生場所がわかるので、その位置にシンナーを塗布して、サンディングしてから塗装している。この手直し作業に工数がかかり、コストアップの要因となっている。また、将来的にも、揮発性有機溶剤の排出規制上好ましくない。スイコミ不良対策として、分子配向によるひずみを取るため、アニーリング処理を行うこともある⁽⁵⁾。また、スイコミ不良の良否判定は目視検査のため、熟練した人しか良否判定できない。

3 スイコミ不良対策のステップ展開

スイコミ不良発生ゼロを目指し、スイコミ不良の定量化と品質工学手法を用いた対策の数値化を以下の7ステップで展開した。

3.1 スイコミ不良原因調査

スイコミ不良は、ABS樹脂で発生が多い。図3に示すようにABS樹脂は、アクリロニトリル(A)、ブタジエンゴム(B)およびスチレン(S)からなるグラフト重合ポリマーであり、AS層の中にブ

タジエンゴム（B）が浮いた組成になっている。



図3 ABS樹脂材料

スイコミ不良の原因が、従来からいわれているものと同じかどうか確認するため、素材の断面を電子顕微鏡で撮影して調べたところ、図4に示すように表面から $20\mu\text{m}$ 位の所までブタジエンゴムが延伸している。この素

材を塗装した断面は、図5のように塗料が素材の中に入り込み、メタリック層が大きくうねっている。また、ブタジエンゴムは、延伸された状態から図3のようにほぼ丸い状態にもどっている。これに対して、スイコミ不良が発生していない素材は、図6に示すように表面近くでもブタジエンゴムがほぼ丸い形状になっている。このことからヤマハ発動機(株)で発生しているスイコミ不良も分子配向が大きいことが原因であることがわかった。

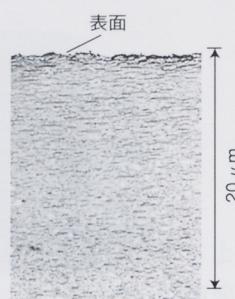


図4 スイコミ不良素材の断面

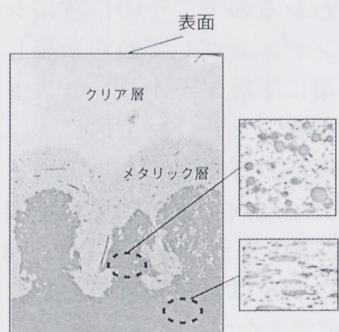


図5 スイコミ不良品の断面

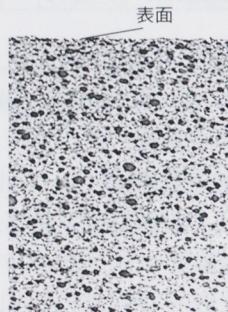


図6 スイコミ不良が発生していない素材の断面

3.2 PM分析

従来からいわれてきた定性的な対策で確実に対策できなかったのは要因が不足しているからだと考え、設備、金型、成形条件、材料、塗装、塗料とスイコミ現象との関連性を明確にすることから分析を始めた。

スイコミ不良の原因については、分子配向が大きくブタジエンゴムが延伸されていることから、成立する条件として樹脂を流す時のせん断応力が大きいことに着目しPM分析を行った（表1）。

表1 PM分析

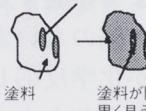
現象	塗装後、ゲート付近が黒くなり、本来の塗色がでない
物理的な見方	延伸されたゴムがシンナーで浸されベースとゴムの間にできた隙間に塗料が入り込む 
成立する条件	1.樹脂を流す時のせん断応力が大きい 2.樹脂の中のゴム成分が多い
スイコミ現象との関連性	1.ノズル径が小さい 2.シリンダ内の温度分布が均一でない 3.スクリュの動きが樹脂の流れに追従できない（射出速度のコントロールができない） 4.可塑化が悪い（均一に溶けない）
金型	1.ゲート数が少ない 2.ゲートのラップ代が小さい 3.ゲートの磨きが悪い 4.ゲートから製品に入っている部分が急激に曲がっている（ピン角になっている） 5.ゲートの長さが長い 6.ゲートの幅が狭い 7.ゲートの厚みが薄い 8.ランナの径が小さい 9.ランナの磨きが悪い 10.ランナからゲートに樹脂が入る時に抵抗が大きくなる 11.製品面の磨きが悪い 12.肉厚が薄い 13.製品面が急激に曲がっている
材料	1.樹脂の粘性が高い 2.ゴムの成分が多い 3.溶けにくい 4.固まりやすい
条件	1.樹脂の温度が低い 2.回転数が低い 3.背圧が低い 4.射出速度が速い 5.射出圧が高い 6.保圧が高い 7.型温が低い
塗料	1.塗料の溶解力が強い 2.メタリック量が多い 3.メタリック粒子が小さい
塗装	1.膜厚が薄い

表2 管理項目マトリックス表

一次要因		三次要因								メタリック粒子が少	
材料のゴム成分が多い		金型の温度が低い	樹脂の粘度が高い	樹脂の温度低い	射出速度が速い	ゲートの数が少ない	ゲート幅が狭い	ランナの厚みが薄い	肉厚が薄い	油圧が高い	ゲートのラップ代が少
工程No.	製造工程	管理工程	区分							基準値	
1	材料受入	MI値	材料	○						材料毎 ABS 2.5g/10min	
			巾 厚み 面積 長さ ラップ代 コーナーR 角R 固定側ゲート粗さ	幅 厚 型 型 型 型 型 型	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	
										5mm 2.5 12.5mm ² 8mm 型毎 0 0 1.2μmRz	生産データ 経験 文献 優先順位
										○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	4 1 16 7

3.3 要因の絞り込み

要因を絞り込むために、表2に示すようにPM分析の結果と材料から塗装までの各工程の管理項目マトリックス表を作成し、スイコミ不良現象と管理項目との関連性を調べた。ABS樹脂で成形している製品の生産データを取り、層別分析を行って影響のある管理項目を調べ、また、文献や過去の経験から影響のある項目に丸を付けた。生産データや文献および過去の経験によるウェイト付けおよびスイコミ不良の発生箇所の約90%がゲート付近であることから、要因を11項目に絞り込んだ。

成形条件は、図7に示すシリンダ温度H1、シリンダ温度HN、回転数、型温、射出速度の5項目、金型では、図8に示すゲートの数、幅、厚み、固定側製品面粗さ、製品の肉厚、ゲートと製品の角度の6項目とした。

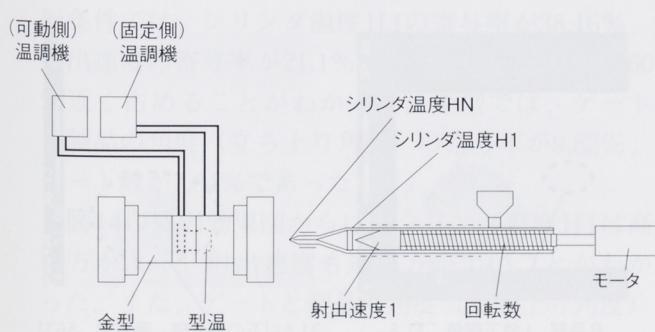


図7 成形条件のテスト項目

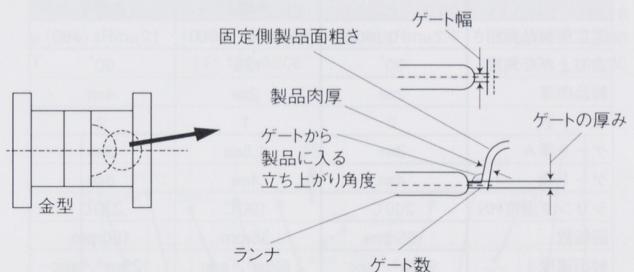


図8 金型のテスト項目

3.4 寄与率調査

3.4.1 実験計画

生産型と生産設備では金型の形状を変えられないため、テスト金型とテスト機を使って実験を行うことにした。図9に示すテスト金型は、製品の表側になるキャビティを4つの入れ子に、製品の裏側になるコアを3つの入れ子構造にして、入れ子の組み合わせを変えることで、実験計画法によって調べたい金型の寸法と形状のテストが行えるようにした。

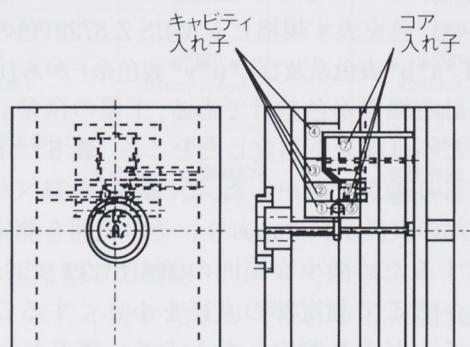


図9 テスト金型

テスト機は80t成形機を使用することにした。テストの水準は、制御因子については、表3に示すとおり、生産データから生産条件の上下限が含まれるように、水準1と水準2を設定した。また、表4に示すように、誤差因子として制御できにくくスイコミ不良に影響をおよぼすと考えられる、樹脂を乾燥したあとの温度、設備の作動油温度、室温の3因子を取り上げた。それを実験計画法の混合系L12に割り付けてテストした。テストの評価は、最もスイコミ不良が発生しやすい塗料で塗装して、N=2のテスト品において、スイコミ不良の面積でテストを行うことにした。

表3 制御因子と水準

因子	現状	テストの水準		色差
		水準1	水準2	
固定側製品面粗さ	1.2 μm Rz (#600)	1.2 μm Rz (#600)	12 μm Rz (#80)	
立ち上がり角度	90°	135°	90°	
製品肉厚	2mm	2mm	4mm	
ゲート数	2	1	2	
ゲート厚み	3mm	1.5mm	3mm	
ゲート幅	4mm	4mm	8mm	
シリンドラ温度HN	200°C	190°C	230°C	
回転数	65rpm	35rpm	100rpm	
射出速度1	94 cm^3/sec	62 cm^3/sec	125 cm^3/sec	
型温	50°C	35°C	60°C	
シリンドラ温度H1	210°C	190°C	250°C	

表4 誤差因子

因子	N1	N2
樹脂乾燥の温度	低い	高い
設備の作動油温度	低い(設備立ち上がり時)	高い(設備安定時)
室温	低い(冬)	高い(夏)

3.4.2 スイコミ不良の定量化

人によるスイコミ不良の判定差をなくし、実験の評価精度を確保するため、スイコミ不良の定量化を行った。スイコミ不良は、実際の塗料の色が出ずく黒ずむことから、色を測定してその差を見ればよい。色を表す規格としてJIS Z 8729(色の表示方法 L*a*b*表色系及びL*u*v*表色系)があり⁽⁶⁾、それを計る機器が色差計である。工場の色差計でよい部分と不良部分を測定したところ、表5に示すようにあまり差がでなかった。この原因を調べたところ測定部の直径が11mmあり、その範囲を測定して平均化するため微少な範囲の差が出ないことがわかった。そこで測定部の直径を小さくすることで差がでるかどうか測定したところ、表6に示すように測定部の直径0.3mmで差がでることがわかった。

表5 $\phi 11\text{mm}$ の結果

測定部位	測定値			色差
	L	a	b	
良品部	21.38	-3.2	-23.9	
不良品部	21.77	-3.71	-24.7	0.98

表6 $\phi 0.3\text{mm}$ の結果

測定部位	測定値			色差
	L	a	b	
良品部	20.07	-3.36	-27	
不良品部	19.82	-2.37	-23.5	3.69

しかし、スイコミ不良の場合は不良の面積も評価する必要があるため、色差を画像処理できないかをテストしたところ、測定レンジとランク数(レンジを区切る区間の個数、階調)を適切に選べば、画像処理でとらえることができたことがわかった(図10、図11)。

画像処理でとらえた色差データの良品部分の下限値を求め、その数値以下の画素を抜き出し画素数を算出することで、スイコミ不良の定量化を行った(図12、図13)。この定量評価の数値と通常行っている5段階の官能評価(表8)との比較を表7に示すが、相関が取れていることがわかる。

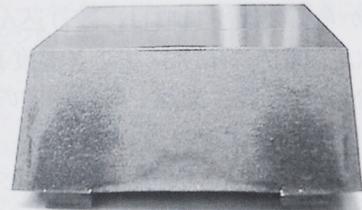


図10 スイコミ不良品(官能評価レベル5)

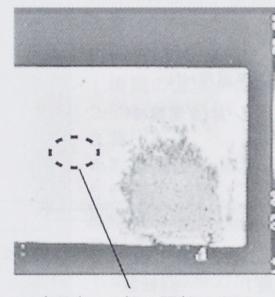


図11 色差画像データ

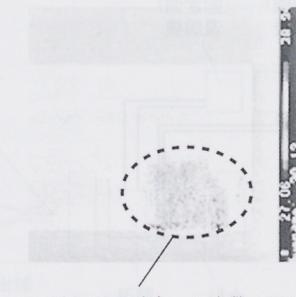


図12 不良部画像処理

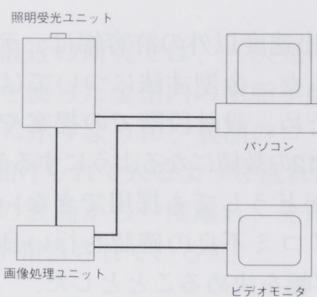


図13 装置概略

表7 評価結果

実験 No.	N1				N2			
	1ショット目	10ショット目	1ショット目	10ショット目	1ショット目	10ショット目	1ショット目	10ショット目
1	620	3	541	3	4179	5	4169	5
2	126	2	23	1	45	1	63	1
3	870	3	616	3	370	2	655	3
4	2273	4	2478	4	2258	4	1927	4
5	5631	5	6508	5	4246	5	4537	5
6	3570	5	4002	5	4464	5	4567	5
7	5166	5	5157	5	4719	5	4954	5
8	1941	4	1645	4	2513	4	2242	4
9	2893	4	2676	4	2204	4	2239	4
10	135	3	240	3	596	3	587	3
11	2201	4	2621	4	2462	4	2724	4
12	2035	4	2561	4	3663	5	4998	5

表8 スイコミ不良5段階官能評価レベル

官能評価	評価内容
レベル1	スイコミ不良が発生していない
レベル2	スイコミ不良が発生しているが修正不要
レベル3	スイコミ不良面積が小さく再塗装要
レベル4	スイコミ不良面積が大きく再塗装要
レベル5	スイコミ不良修正不能

3.4.3 寄与率算出

定量化した結果から、表9に示すように因子の寄与率を求めるため分散分析を行ったところ、成形条件では、シリンドラ温度H1の寄与率が38.16%、射出速度の寄与率が21.1%で、この2つの因子で60%近く占めることがわかった。金型では、ゲートと製品の角度（立ち上り角度）の寄与率が9.82%、ゲート数が7.84%であった。

図14の要因効果図からは、シリンドラ温度H1は高い方がよく、射出速度も速い方がよいことがわかった。また、ゲートと製品の角度（立ち上り角度）はゆるい方がよく、ゲート厚みは薄い方がよいことがわかった。

表10に示すテスト金型とテスト機を使って確認

テストを行ったところ、現状の生産に近い条件では、スイコミ不良画素数が573（官能評価レベル3：スイコミ不良面積が小さく、再塗装要）であったが、最適条件では、画素数38（官能評価レベル1：スイコミ不良なし）になり、効果があることがわかった。

表9 分散分析

因子	f	S	V	F	S'	P (%)
固定側製品面粗さ	1	5.3917	5.3917	0.00	5.3917	4.47
立ち上がり角度	1	11.8406	11.8406	0.00	11.8406	9.82
製品肉厚	1	4.4987	4.4987	0.00	4.4987	3.73
ゲート数	1	9.4544	9.4544	0.00	9.4544	7.84
ゲート厚み	1	6.6420	6.6420	0.00	6.6420	5.51
ゲート幅	1	0.4309	0.4309	0.00	0.4309	0.36
シリンドラ温度HN	1	0.0012	0.0012	0.00	0.0012	0.00
回転数	1	7.4486	7.4486	0.00	7.4486	6.18
射出速度1	1	25.4461	25.4461	0.00	25.4461	21.10
型温	1	3.4321	3.4321	0.00	3.4321	2.85
シリンドラ温度H1	1	46.0343	46.0343	0.00	46.0343	38.16
e	0	0.0000	0.0000	—	0.0000	0.00
T	11	120.6206			120.6206	100.00

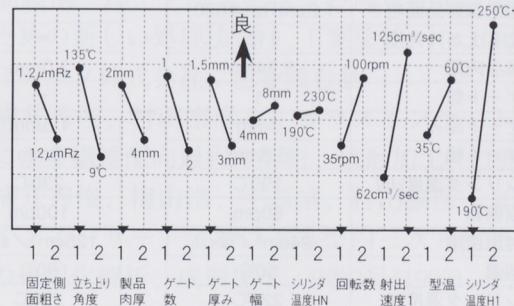


図14 要因効果図

表10 確認テスト条件と評価結果

因子	現状	最適条件
固定側製品面粗さ	1.2µmRz (#600)	1.2µmRz (#600)
立ち上がり角度	90°	135°C
製品肉厚	2mm	2mm
ゲート数	2	1
ゲート厚み	3mm	1.5mm
ゲート幅	4mm	8mm
シリンドラ温度HN	200°C	230°C
回転数	65rpm	100rpm
射出速度1	94cm³/sec	125cm³/sec
型温	50°C	60°C
シリンドラ温度H1	220°C	250°C

定量評価 画素数573
官能評価 レベル3

定量評価 画素数38
官能評価 レベル1

3.5 生産型での確認

スイコミ不良が発生して手直しした図15に示すパネル1という部品にテスト金型とテスト機の結果を織り込み、効果の確認を行った。



図15 生産型確認テスト品（パネル1）

成形条件はすべて変更できるが金型は製品により制約されるため、製品の面粗さ、立ち上り角度、ゲート数は現状のままでし、ゲート厚みとゲート幅は最適条件に、製品肉厚は図面値の下限の3mmとなるように金型を修正して、表11に示す確認テストを行った。

表11 生産型確認テスト条件

因子	変更前	変更後
金型寸法	固定側製品面粗さ 1.2 μ mRz (#600)	← →
成形条件	立ち上がり角度 115°	3.0mm 1.5mm
ゲート数	3.74mm	1 8mm
ゲート厚み	3mm	3mm 5.3mm
シリンダ温度HN	190°C	230°C
回転数	60pm	100pm
射出速度	94cm ³ /sec	125cm ³ /sec
型温	50°C	60°C
シリンダ温度H1	220°C	250°C

テストの評価については、現在のところ平面部の画像処理はできるが三次元形状の生産品は画像処理できないため、官能評価を行った。その結果、変更前はスイコミ不良がレベル4（スイコミ不良面積が大きく再塗装要）であったものがレベル1（スイコミ不良が発生していない）になった。

3.6 許容幅の確認と標準化

成形条件のうち寄与率の高いシリンダ温度H1と射出速度の許容幅を求めるため、実験計画法L9に割り付けてテストを行った。水準は、テスト結果を中心値にし設備能力を考慮しながら、シリンダ温度H1は250±10°C、射出速度は125±20cm³/secとした。その結果を官能評価で判定したところ、この範囲でスイコミ不良は発生しなかった。

この結果から、表12に示すようにABS樹脂の金型寸法と成形条件を標準化した。成形条件のシリンダ

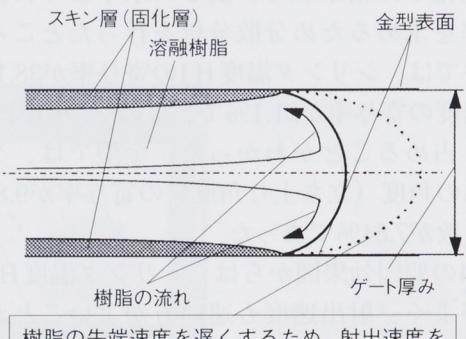
温度H1と射出速度以外の許容幅は、テスト時の上下限で設定した。金型寸法については製品により制約されるため、設計段階での提案や流動解析での検討で、表12の数値になるようにすることとした。表12の数値がどうしても採用できない場合には、トライでスイコミ不良の確認を行い良否判定をしてから、許容幅を決めることとした。

表12 金型寸法と成形条件の標準化

No.	因子	基準値および許容値
1	固定側製品面粗さ	1.2 μ mRz (#600)
2	立ち上がり角度	(135°)
3	製品肉厚	(2mm)
4	ゲート数	(1)
5	ゲート厚み	1.5mm
6	ゲート幅	8mm
7	シリンダ温度HN	230±10°C
8	回転数	100±5rpm
9	射出速度1	125±20cm ³ /sec
10	型温	60±5°C
11	シリンダ温度H1	250±10°C

4 スイコミ不良対策結果の考察

今回の射出速度を速くしてゲートは薄くするという結果は、従来行ってきた文献の対策とは逆のものになった。樹脂が金型内を流れるとき、図16に示すように溶融した樹脂は中心側から金型表面に流れ、金型の表面に接触すると冷やされ薄く固まる⁽⁷⁾。その樹脂の先端の速度が速くなるとせん断応力が大きくなりスイコミ不良が発生するため、射出速度を遅くしたり、ゲートの厚みを厚くするという対策が提唱されていると考えられる。



樹脂の先端速度を遅くするため、射出速度を下げる・ゲート厚みを厚くすることで対応

図16 金型内の樹脂の流れ

しかし、最近の研究では、三次元のガラスインサート金型を使った金型内の樹脂挙動の可視化により、図17に示すように、製品のコーナ部など樹脂が急激に曲げられて入るような流れにおいては、樹脂が金型の表面から一度離れ、先端の速度が速くなることが報告されている⁽⁸⁾。

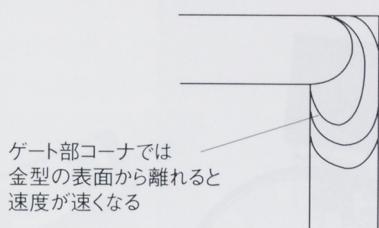


図17 コーナ部の樹脂の流れ

先端の速度が速くなるとせん断応力が大きくなりスイコミ不良が発生すると考えられるので、対策としては、コーナ部では金型から離れている時間を短くするため、金型のコーナ部への充てんを速くすればよいと考えられる。スイコミ不良の原因には、図16のように樹脂が金型表面と平行に流れている流れの先端の速度が速くなって発生する場合と、図17に示すコーナ部のように樹脂の流れが急激に曲げられて金型表面から離れるために先端の速度が速くなって発生する場合があり、今回の結果は、両者を発生させない最適条件と考えられる。

今回対象にしていた10部品のスイコミ不良の対策ができ、手直し作業によるコストアップの防止および再塗装による揮発性有機溶剤の排出の増加を防ぐことができた。また、色差を画像処理することで、ほぼスイコミ不良の定量化ができた。

5 おわりに

ほぼあきらめていたスイコミ不良の恒久対策について品質工学手法を使って数値化することができた。今後は、今回の進め方を横展開し、慢性不良ゼロを目指して活動して行きたいと考えている。スイコミ不良の測定においてミノルタ（株）の多大なご協力に誌面をお借りして深謝申し上げる。

なお、本文は1998年度日本プラントメンテナンス協会PM論文賞の佳作に入選したことをご報告致します。

■ 参考文献

- 一瀬晃二：実用版プラスチックのコーティング技術総覧第4節成形条件差と表面、産業技術サービスセンター、P37
- 横井秀俊、村田泰彦ら：ガラスインサート金型によるフローマーク生成過程の解析、成形加工、(1991)、P205
- 横井秀俊、村田泰彦ら：ガラスインサート金型によるシルバーストリーク生成過程の解析、生研セミナー、(1993)、P421
- 横井秀俊、村田泰彦ら：ガラスインサート金型によるウェルドライイン生成および消失過程の解析、成形加工、(1991)、P205
- 加藤浩一郎：プラスチックの付着性を改善するための新しい処理法(上)、工業塗装、No.109、P88
- ミノルタ株式会社：色を読む話
- 横井秀俊、村田泰彦ら：ガラスインサート金型による纖維配向過程の解析、成形加工、(1993)
- 横井秀俊、梅山浩、宇高靖、村田泰彦：ガラスインサート金型による型内三次元樹脂挙動の可視化解析、成形加工、9巻3号(1997)、P232

●著者



田村行男