

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

Visual Analysis of Silver-streak Generation Process by Glass-inserted Mold

村 田 泰 彦*・横 井 秀 俊*・

長 谷 元 弘**・永 見 哲***・渡 辺 広 三****

Yasuhiko MURATA, Hidetoshi YOKOI, Motohiro NAGAYA, Satoru NAGAMI and Hiromi WATANABE

1. 緒 言

射出成形における外観不良の一つにシルバーストリークが挙げられる。シルバーストリークは、ペレット中に含まれる水分、空気、熱分解ガス等が、可塑化過程において樹脂内に巻き込まれ、気泡が発生した状態で射出される場合に形成されることが経験的に知られている。気泡発生現象について竹内らは、試験装置を試作し、気泡発生・消滅圧力の検討を行っている¹⁾。Villamizar らは、発泡成形における気泡成長過程を透明平行ガラスで構成された簡易可視化装置により観察している^{2), 3)}。しかし、気泡発生からシルバーストリーク成形に至る一連の挙動を動的に解析した例はない。著者らの一部は、型内樹脂流動挙動を通常の成形条件下で動的に観察できるガラスインサート金型⁴⁾を提案し、ウェルドライン・フローマーク等の外観不良の解析^{5), 6)}を行ってきた。

本報告では、ガラスインサート金型を用いて、シルバーストリーク生成過程およびその原因となる気泡の発生過程を観察し、それらの相関関係を検討した。

2. 実 験 方 法

図 1 にキャビティ形状を示す。ガラスインサート金型構造は、既報⁴⁾に詳しいので省略する。シルバーストリーク生成過程の観察にはキャビティ A を、気泡挙動の観察はキャビティ B を用いた。シルバーストリーク発生挙動の観察実験には、サイドゲートを使用し、型内気泡発生挙動の観察実験には、同時にファンゲートを使用した。キャビティ B のエジェクタピン P の直下には、水晶圧電式圧力センサ Type9221 (日本キスラー(株))が挿入されている。表 1、表 2 に使用樹脂と成形条件、シル

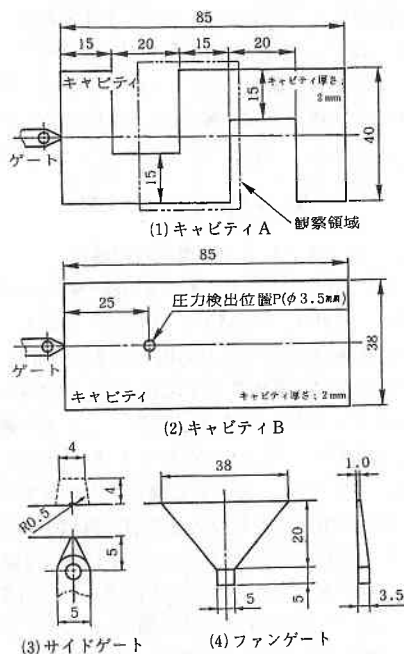


図 1 キャビティ形状

表 1 使用樹脂および成形条件

	GPPS (エスプライト 2V 住友化学工業(株))	PMMA (アクリベット VH 三菱レーヨン(株))	AS (サンレックス LS-YS-604 モンサント化成(株))
射出率 [cm ³ /s]	2.6	13.2	6.6
樹脂温度 [°C]	220	240	240
金型温度 [°C]	50	80	50

バーストリークの生成方法を示す。型内樹脂流動挙動は、高速ビデオシステム HSV-400 (株)ナック) により、毎秒200コマで撮影した。また加熱シリンダ内の気泡挙動を、著者らの一部の開発による可視化加熱シリンダ⁷⁾を

*東京大学生産技術研究所 第2部

**ファナック(株) ロボマシ研究部

***三井石油化学工業(株)

****ムネカタ(株) 研究開発部

研 究 速 報

表2 シルバーストリーク生成方法

原因物質	樹 脂	方 法
水 分	GPPS	乾燥なし
	PMMA	90℃で3時間乾燥したペレットと未乾燥ペレットを1:1でブレンド
	AS	ペレットに水分を0.21, 0.31wt%添加
空 気	GPPS	加熱シリンダ内の樹脂を飢餓フィード状態にして計量
熱分解ガス	GPPS	加熱シリンダ計量部温度を220℃に設定し、計量後2時間放置

用いて観察した。シルバーストリーク生成箇所の表面形状観察には、走査型電子顕微鏡 JSM-5200 (日本電子(株)) および工具顕微鏡 TM300 (株)ミットヨ) を使用した。射出成形機は、Ti-80G (東洋機械金属(株), 型締力 80トン) である。

3. 実験結果および考察

3.1 シルバーストリーク生成過程の観察

図2にシルバーストリーク生成過程の観察画像を示す。ここでは、GPPS, PMMAを吸湿させてシルバーストリークを生成させた。(1)のGPPSにおいては、フローフロント後方から流れてきた気泡(①)がフローフロントに追いつき(②), 同先端に到達した直後に破裂し、破裂した箇所からスジが生成する(③④)。(2)のPMMAにおいては、大きな気泡とその後方で黒い影のように見える細かな多数の気泡群が、樹脂圧低減を受けて大きく成長しながらフローフロントに接近する(①)。大きな気泡がまずフローフロントに到達し、同先端を突き破るようにして破裂する(②③)。その後、細かな気泡群もまた次々と到達し、放射状シルバーストリークが広い範囲で生成される(④)。これは、単一の大きな気泡と細かな多数の気泡群が引き起こすシルバーストリークとが重畳された例である。また本実験のすべての樹脂で、図2(1), (2)の生成形態が確認された。

図3に工具顕微鏡によるシルバーストリーク表面形状観察写真を示す。図2(1)に対応するのが図3(1)で、成形品片側表面に放物状の2重のスジが観察される。図2(2)の大きな気泡によるシルバーストリーク形状は、図3(1)と同じであるが、この場合、成形品の表裏両面に形成されることを特徴としている。また図2(2)の細かな多数の気泡群によるシルバーストリークの形状は、図3(2)に示されるように、気泡が引き伸ばされて放射状の無数のスジを呈している。さらに放射状シルバーストリークの表面および断面を、SEMにより観察した例を図4に示す。

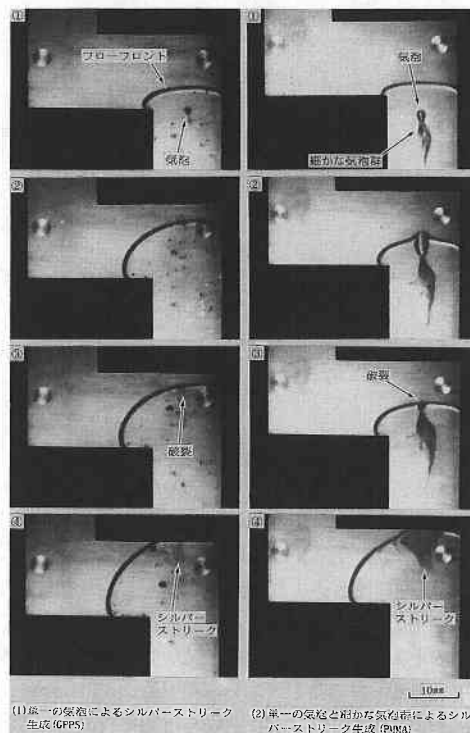


図2 シルバーストリーク生成過程の観察画像
(水分が原因となる場合、キャビティA, サイドゲート)

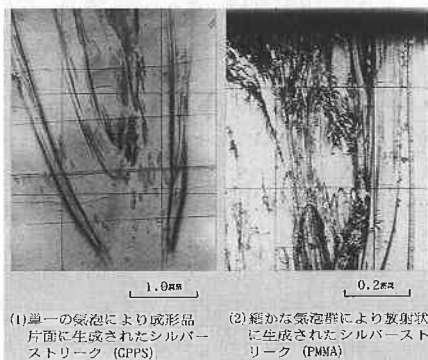


図3 シルバーストリークの表面拡大観察写真
(水分が原因となる場合、キャビティA, サイドゲート)

(1)の表面観察写真では、気泡の破裂した痕跡と推察されるくぼみが多数観察され、(2)の断面観察では、表面近傍に気泡が引き伸ばされたような空洞部の存在が認められる。

3.2 シルバーストリーク生成機構

以上の結果より、シルバーストリークは、大きく分けて、単一の大きな気泡によるもの(モードI)と、細かな多数の気泡による放射状のもの(モードII)に類型される。前者はさらに(1)成形品片面に生成されるもの(モードIa),

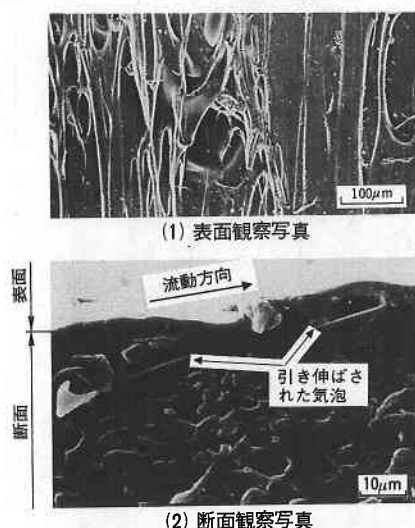
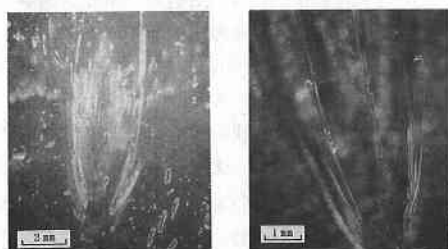


図4 放射状シルバーストリークのSEM観察写真
(PMMA, キャビティA, サイドゲート)



(1) 空気巻き込みによる場合 (2) 熱分解ガスによる場合

図6 各種気泡発生原因物質によるシルバーストリーク表面
SEM観察写真 (モードIaの場合, サイドゲート)

および(2)成形品両面に生成されるもの (モードIb) に分類できる。ただし、実際にはこうしたモードI, IIが複合化されて生成されることもあると考えられる。観察画像および表面観察写真に基づき、以上のシルバーストリーク生成機構を推察した結果を図5に示す。まずモードIaでは、気泡がキャビティ厚さ中心軸より壁面方向にずれた位置で、フローフロントに到達するために(①)、ファウンテンフローに乗って片側壁面へと展開する(②)。そして壁面に到達し、接触部が一瞬の間に固化し、その部分に2本のスジが生成される(③)。フローフロントの更なる前進により気泡が押し潰され破裂し、シルバーストリークが形成される。これに対して、モードIbでは、大きな気泡が厚さ中心軸上でフローフロントに到達し、ファウンテンフローにより両壁面方向に伸長を受け破裂する(①)。つぎに同フローによって気泡の破裂した跡が、両壁面方向に引き伸ばされながら展開する(②)。キャビティ厚さ中央部は、後方の樹脂

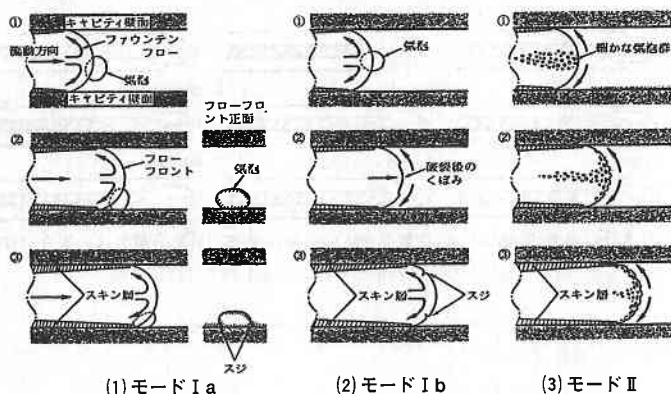


図5 シルバーストリーク生成機構の推察図

により前方に押し出されるために、2本のスジが形成される(③)。これらのスジが壁面に接触し、スキン層中に固定される。モードIIでは、細かな気泡群がフローフロントに到達し(①)、ファウンテンフローにより、フロント表面に露出した気泡は破裂し、露出しない気泡は破裂しないまま引き伸ばされ(②)、壁面近傍で固定される(③)。スキン層厚さが $20\mu\text{m}$ 以上であることを考慮すれば、図4(2)において引き伸ばされた気泡が表面より $20\mu\text{m}$ 以内の位置に存在していることは、同気泡が壁面付近におけるせん断流の影響ではなく、ファウンテンフローにより引き伸ばされたものであることを裏付けている。

3.3 シルバーストリーク形状と生成原因物質の相関検討

シルバーストリーク生成原因物質の違いが同形状に与える影響について検討する。空気および熱分解ガスによって生成したもののシルバーストリークのSEM観察写真を、図6に掲げる。これは、モードIaの場合の比較例であるが、両者とも水分の場合と比較して形状に違いが見られない。またモードIb, IIの場合についても、原因物質の違いによる影響は現れないことを確認している。これよりシルバーストリーク形状の違いは、気泡発生原因物質には依存せず、気泡の大きさおよび数、キャビティ厚さ方向における気泡の流動位置に依存するものと考察できる。

3.4 気泡発生挙動の観察

3.4.1 加熱シリンダ内における気泡挙動

計量から射出におけるどの工程で気泡が発生しているかを、可視化加熱シリンダ⁷⁾により観察した。図7に観察結果のまとめを示す。水分による気泡は、計量部で発生する。空気巻き込みによる気泡は、ペレット間に空隙を多く内包するスクリュ供給部、圧縮部の固体輸送部、ソリッドベッドから送られてくる。熱分解ガスは、滞留

研 究 速 報

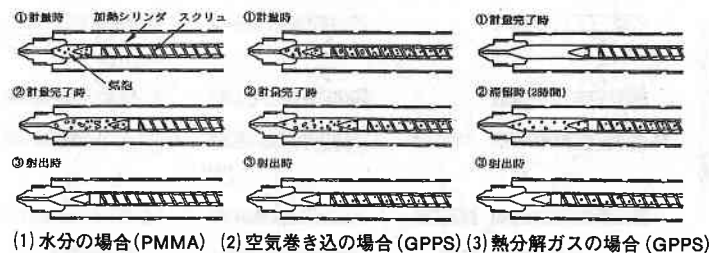


図 7 加熱シリンダ内における気泡発生および消滅挙動

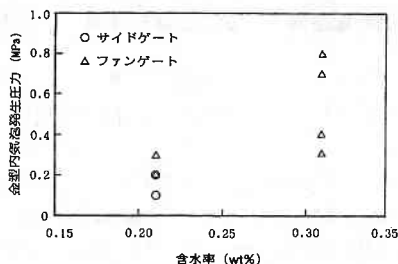


図 8 金型内気泡発生圧力と含水率の関係(AS, キャピティ B)

中に計量部において発生する。熱分解ガスの場合、滞留時間中、スクリュー後方においても同時に発生する。これら気泡は、射出時に消滅する。これは、射出時の加熱シリンダ内樹脂圧力の上昇により、気泡が樹脂に溶解することおよび圧力により微細化し見えなくなることが原因と考えられる。

3.4.2 キャピティ内における気泡挙動

加熱シリンダ内で一旦消滅した気泡は、射出中、ランナー・キャピティ内で再び発泡する。キャピティ内における AS の場合の気泡発生圧力と含水率の関係を図 8 に示す。ここでは、ゲート形状の影響も検討している。フローフロント先端 (圧力 0 MPa と仮定) と圧力検出位置 P (図 1 (2)) 間の圧力勾配を線形近似し、気泡発生位置における圧力を近似直線より算出した。多少バラツキはあるが、含水率が一定ならば、ゲート形状が変化しても気泡発生圧力は一定であること、および同圧力に対する含水率依存性を示している。図 9 はフローフロントに近い位置で発生した気泡の膨張率と圧力の関係を示す。点線は、ボイルの法則より導びいたものである。気泡がフローフロントに接近するに従い樹脂圧力低下のために、膨張する様子が伺える。膨張率が小さい領域 (3 倍以下) においては、ボイル則よりも圧力変化に対して、大きな膨張率変化を示す。これは、上記領域で減圧による膨張と同時に、シリンダ内において樹脂中に溶解した水分の気化が起っていることを裏付ける結果となっている。

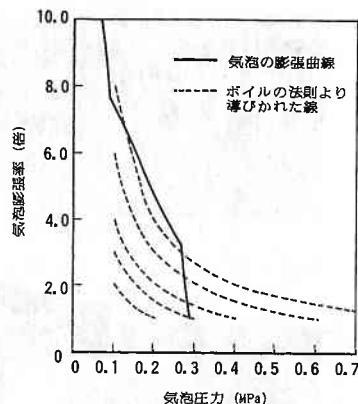


図 9 フローフロント近傍における気泡膨張挙動 (AS, 含水率 0.21 wt%, キャピティ B, サイドゲート)

4. 結 言

- (1) シルバーストリークは、気泡がファウンテンフローする瞬間に生成され、その生成形態は、単一の大きな気泡により①成形品片面に生成されるもの、および②成形品両面に生成されるもの、③細かな多数の気泡により生成される放射状のものの 3 通りに大別できる。
- (2) 上記 3 通りのシルバーストリークは、気泡発生原因物質に依存せず、気泡の大きさ・数、キャピティ厚さ方向における気泡の流動位置に依存し、その形態を変化させることを確認した。
- (3) ガラスインサート金型と可視化加熱シリンダによりシリンダ内で発生した気泡が、射出時のシリンダ内圧上昇により一旦消滅し、ランナー・キャピティ内における圧力低下により再び現れる一連の過程をとらえた。

(1993 年 3 月 30 日受理)

参 考 文 献

- 1) 竹内直和, 中村隆年: 成形加工 '89, 179 (1989).
- 2) Villamizar, C., A. and Han, C., D.: Polym. Eng. and Sci., 18, 9, 699 (1978).
- 3) Han, C., D. and Yoo, H., J.: Polym. Eng. and Sci., 21, 9, 518 (1981).
- 4) 横井秀俊, 林 高樹, 平岡弘之: 生産研究, 39, 7, 306 (1978).
- 5) 横井秀俊, 村田泰彦, 織山俊雄, 戸田清登: 成形加工 '89, 245 (1989).
- 6) 横井秀俊, 村田泰彦: 型技術者会議 '91, 104 (1991).
- 7) 横井秀俊, 早崎 進, 高橋 博: 高分子学会予稿集, 37, 9, 2703 (1988).