

樹脂流動状態の可視化技術開発

松浦元司^{*1}, 上村明美^{*1}, 渡辺健市^{*2}, 水野克俊^{*3}

Technological Development for Visualizing Flow Condition of Resin

Motoshi Matsuura^{*1}, Akemi Uemura^{*1}, Kenichi Watanabe^{*2}, Katsutoshi Mizuno^{*3}

要旨

クレージングなど塗装外観不具合の未然防止を目的として、成形品の樹脂流動状態を可視化する技術開発を行った。流動状態の可視化は、偏光顕微鏡を用いて行った。主に、2つの技術により流動状態の可視化を可能にした。1つは光源を単色化することと、もう1つは、2つの異なる方位角における偏光顕微鏡写真の合成によって、方位角方向の強度変化を平均化する技術である。クレージング対策を目的としたいくつかの事例を示す。また、この技術はクレージング対策以外にも応用が可能である。

Abstract

To prevent painting defects such as “crazing defects” before they happen, we developed a technology for visualizing the flow conditions of resin for molded articles. To visualize the flow condition of resin, we used a polarized optical microscope. We were able to visualize the flow condition by two main methods. One is to make the light source monochromatic, and the other is a technique to average the change in light intensity around the azimuthal angle by synthesizing two polarized optical microscopy images at the point of different azimuthal angles. We present some examples of the result of analysis for preventing crazing defects. This technique can also be applied to defects other than crazing defects.

1. はじめに

近年、意匠性向上を目的とし、樹脂製品の大型化、塗装めっき製品のニーズが拡大している。ただし、大型化・加飾加工による高付加価値化はつくりの難しさとなり、外観不具合の原因となりえる。最近、基材樹脂の流動状態が、これらの不具合の要因となっているケースが少なくないことがわかってきた。そこで塗装外観不良の未然防止を目的として、成形品の樹脂流動状態の可視化・定量化を試みた。

2. 背景と開発目標

2-1. 背景

樹脂製品を塗装・めっきする加飾化の流れが近年、加速している。このような加飾化により、1次加工である射出成形の段階では見つからない成形欠陥が、2次加工である塗装・めっき後に塗装

むらやクレージング、あるいはめっき剥がれとしてあらわれることがある。これまでこれらの不具合は、塗装やめっきの加工上の不具合として対策されることが多かった。しかし最近、これらの不具合は、かなりの場合において、基材樹脂の流動状態と密接に関係していることがわかってきた。たとえば塗装品では、基材成形品の樹脂流動状態に起因してクレージング不具合が発生することがある。そこで、偏光顕微鏡を用いて成形品断面の樹脂流動状態を可視化・定量化し、これに基づいて成形条件を制御することにより、外観不良の未然防止ができると考えた。

2-2. 開発目標

表-1に世の中で見られる樹脂流動状態の可視化に関連する技術を示した。代表例として、研磨/薬品処理による方法¹⁾、フィラーの向きにより可視化する方法、型内の樹脂流動を直接観察する手法²⁾、あるいは、コンピュータシミュレーショ

*1 材料技術部 材料分析室

*2 材料技術部 材料開発統括室

*3 IE 生産技術部 第1生技室

表-1 世の中の樹脂流動状態の可視化技術（代表例）

方法	成形品	流動状態可視化サイズ	定量化
		← m mm μm →	
研磨/薬品処理法	○		×
フィラーによる可視化	○		×
偏光顕微鏡法	○		×
型内流動可視化	×		○
流動CAE	×		○

ンにより可視化する方法，そして，従来技術である偏光顕微鏡により観察する手法が挙げられる。それぞれの技術が対象とする領域の大まかなサイズ，実際の成形品の可視化の可否，配向の定量化の可否を示した。このように整理してみると，実際の成形物の流動状態が観察できて，定量化もできる汎用的な手法がない。

そこで，パッチワークを用いた偏光顕微鏡観察像から樹脂の配向状態を定量化する技術開発を目指した。開発の目標として，実際の成形品において数ミリ角レベルの領域の樹脂配向が定量化できることとした。

3. 偏光顕微鏡観察像の定量化の課題

次に偏光顕微鏡観察による流動状態の定量化の課題について述べる。

最初に実験上の課題として，偏光顕微鏡で観察を行うことから，試料を光が透過する必要がある。着色材などの製品はナチュラル色に置き換え，成形を行う必要がある。さらに対象とするABS樹脂（アクリロニトリル，ブタジエン，スチレン共重合合成樹脂）では材料が白濁しており，工夫を要する。

次に流動状態定量化の課題を述べる。図-1に示すように，偏光子と検光子が直交した状態（以下，クロスニコル）に白色光を透過させると視野は暗くなる。クロスニコル間に光学的に等方的な試料が存在しても，同様に視野は暗くなる。これに対し，図-2に示すように，クロスニコル下で複屈折を有する試料を観察すると，分子配向試料を透過した光は楕円偏光となり，検光子方向の振動が発生するため，検光子を透過する。このとき透過強度は波長依存性があるため，白色光光源の場合，各波長の強度バランスが崩れて干渉色が

見られることがある³⁾。

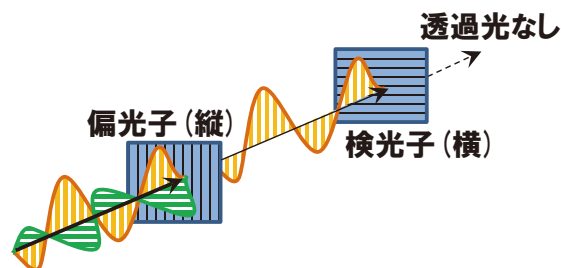


図-1 クロスニコルに白色光を透過させた図

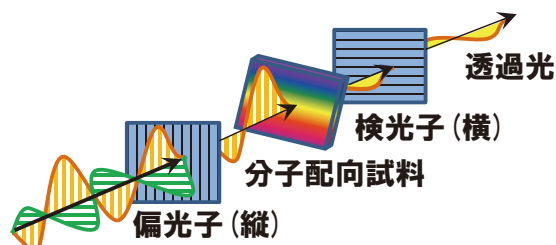


図-2 クロスニコル間に分子配向試料を挿入して白色光を透過させる場合

図-3は偏光子（P）と検光子（A）を直交させたクロスニコルの間に，流動による配向がある樹脂成形品を図のようにまっすぐ縦にして見たところであり，干渉色が現れている。図-4は樹脂成形品の向きを回転させたものである。

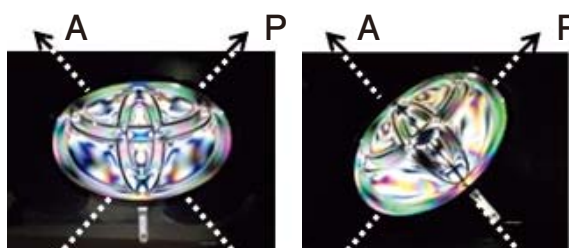


図-3

図-4

このように樹脂成形品を回転させると色に変化することから、干渉色は、試料の各部位の樹脂流動方向と関係している。試料内での樹脂流動方向が不明な中で干渉色図表を用いて試料各部の配向の強さを推定することは、複雑で難しいと考えられる。

4. 定量化の手法

4-1. 試料作製方法

ミリレベルのマクロな領域の状態を偏光顕微鏡で観察しようという狙いから、試料は成形品を5～10mm角程度に切り出し、φ25mmの円柱状の型内でエポキシにより包埋する。これを精密切断機で厚さ500μmにスライスし、顕微鏡観察を行った。顕微鏡としてオリンパス製偏光顕微鏡、BX51-Pを使用して観察を行った。

例として、図-5に示す樹脂成形品のゲート部(図-6に拡大図を示す)を切り出して埋め込み、断面のスライス片を作製した。



図-5 樹脂成形品の全体像



図-6 樹脂成形品ゲート部の拡大

4-2. 材料の透明性の確保

ABS材料では、AS樹脂中にブタジエンゴムが分散する微細構造をとるため、白濁しており、透明性が悪い。これを改善するために、AS樹脂とゴムの屈折率を合わせた特殊な透明ABS材料に粘度調整を施し、ABSと同じ条件で成形できる材料を開発して実験を行った。

4-3. 偏光顕微鏡像の単色化

3項偏光顕微鏡像の定量化の課題で述べたように、干渉色を扱って流動状態を定量化することが難しいため、緑色の単色フィルターを用いた。

図-7は前述の樹脂成形品のゲート部断面を、クロスニコル下で鋭敏色板を挿入し、白色光を用いて観察したものであり、干渉色があられている。同じ試料について、単色フィルターを挿入して観察すると図-8のように観察像は明暗の情報になる。

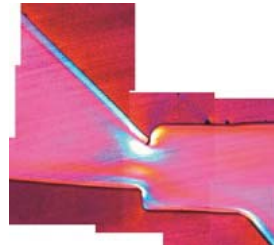


図-7 ゲート部断面の偏光顕微鏡観察像(クロスニコル下 鋭敏色板使用)

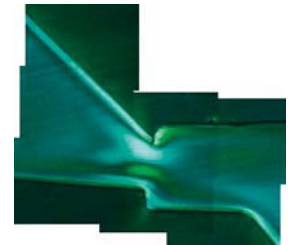
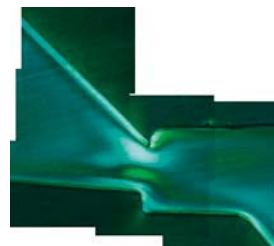


図-8 ゲート部断面の偏光顕微鏡観察像(クロスニコル下 単色フィルター使用)

4-4. 方位角の影響排除

単色フィルターを使用しても、試料を方位角方向に回転させると、明るさは変化する。この方位角方向の依存性を排除するため、異なる角度で観察した像を合成して平均化するという方法をとることにより、弱い複屈折を有する樹脂配向を、明暗で見ることが可能となった。たとえば図-8と角度を変えた図-9を合成するとモノクロの図-10を得ることができる。像の合成には一般的な画像解析ソフトを用いた。



再掲図-8 ゲート部断面の偏光顕微鏡観察像(クロスニコル下 単色フィルター使用)



図-9 試料の方位角を変化させて観察

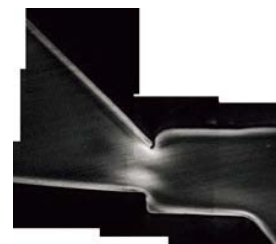


図-10 合成された観察像

5. 結果

図-10のモノクロ像の明暗で示された配向の強さをピクセルごとに16階調に色彩化し、可視化・定量化したのが、図-11である。ゲート部で2箇所配向の強い領域が見られ、流れが狭くなるところで配向が強くなることが分かった。

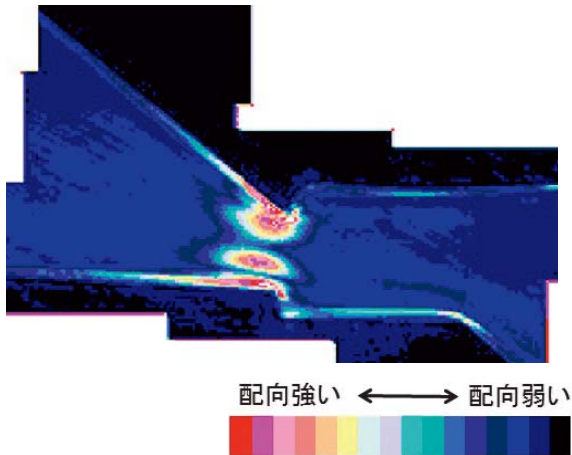


図-11 樹脂製品ゲート部の配向状態定量結果

6. 適用例

6-1. 射出速度による影響の可視化

樹脂を射出成形する際の変化させることにより、成形品の配向はどのように変化するだろうか。射出速度をそれぞれ50mm/s、150mm/sと変化させて成形したテストピースのゲート部と

中央部の断面を偏光顕微鏡観察し、樹脂流動状態の解析を行った。結果を表-2に示す。

まず中央部を見ると、表層付近0.5mmほどが配向し、内部は配向していないことがわかった。表層の配向の程度は、射出速度150mm/sのほうが強く、配向領域の厚みは若干薄いことがわかった。

さらにゲート部付近では、配向した領域の厚みも厚く、表層付近の配向は若干150mm/sのほうが強いように見られる。

このように成形品の配向状態について、様々な情報を得ることができる。

6-2. 保圧による影響の可視化

次にテストピース(図-12)を成形する際の保圧あり、なしの影響を可視化した。図-13、図-14は、それぞれ保圧をかけていない場合、

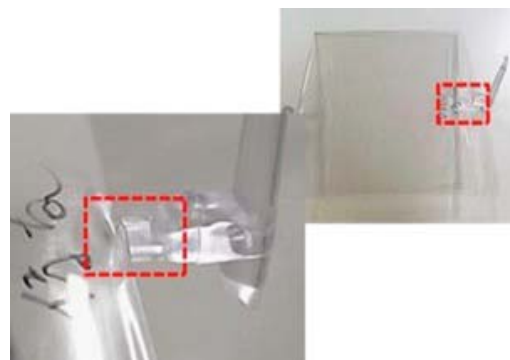


図-12 テストピースとゲート部の拡大

表-2 射出速度を変化させた時のテストピース断面の樹脂流動状態

		中央部	ゲート付近
分子配向の状態	射出速度 50mm/s		
	射出速度 150mm/s		

1mm

配向強い ← → 配向弱い

保圧をかけた場合のテストピースゲート部の樹脂流動を可視化したものである。保圧ありの場合、テストピースゲート部付近の配向は、保圧をかけない場合よりも強い。保圧をかけることで配向が大変強くなることがわかった。

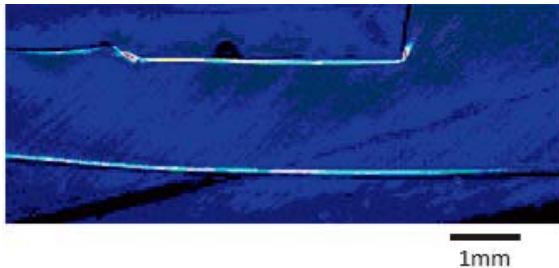


図-13 ゲート部の樹脂流動状態（保圧なし）

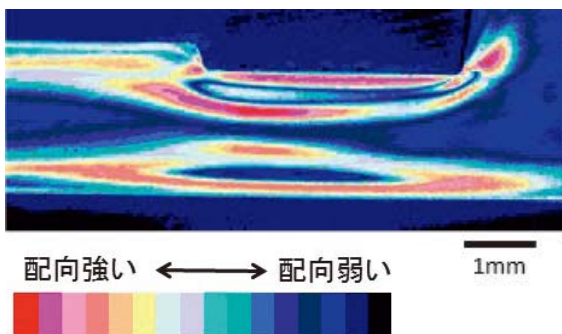


図-14 ゲート部の樹脂流動状態（保圧あり）

6-3. 塗装クレージング品の可視化

はじめに述べたような大型製品では多点ゲートとなる場合がある。図-15に製品の模式図を示す。このような射出成形品に塗装した場合、ゲート付近にクレージングが発生することがある。各ゲート近辺で塗装の状態を確認すると、ゲート付近でクレージングが発生する部位と発生しない部位が存在した。それぞれについてゲート付近断面の流動状態を解析した結果を図-16～図-18に示す。製品においても、表層で配向が強いことがわかった。また、クレージングが発生する部位の配向が強く、塗装に問題のない部位での配向は弱いことがわかった。この結果から、クレージングが発生するおおよその閾値が読み取れる。



図-15 多点ゲート製品の模式図

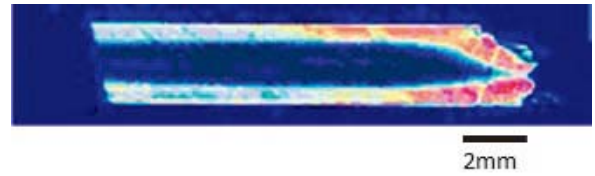


図-16 ゲート1付近の樹脂流動状態（クレージング発生）

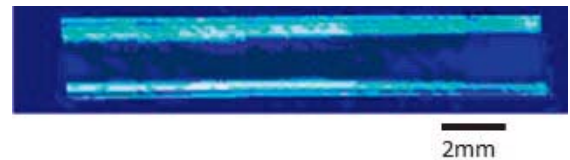


図-17 ゲート2付近の樹脂流動状態（クレージング発生）

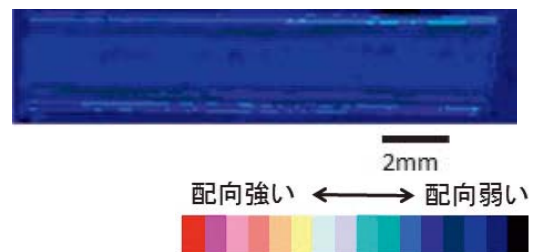


図-18 ゲート3付近の樹脂流動状態（クレージング無し）

6-4. 溶着温度による影響の可視化

クレージング関係以外にも流動状態を見たいというニーズがある。異種材料の溶着を必要とする製品があり、溶着部の流動状態を見たいというものである。その検討の中で、温度を変化させてABSと共重合PCの溶着させる実験を行い、それぞれのテストピースの溶着断面の樹脂流動状態を解析し、さらに引張り試験で溶着強度を測定した。結果を表-3にまとめて示す。共重合PCの領域を見ると、240℃で溶着したものの配向が強いのがわかる。溶着強度を比較すると240℃の方が大きい。溶着温度が低いと熔融樹脂の粘度が高く、接合圧力が強いのではないかと考えられる。このような検討においても有用なデータを提供できる。

7. おわりに

成形品の流動状態を可視化したいというニーズは、成形加工やめっき・塗装のさまざまな場面で発生している。クレージング以外にも、溶剤クラックやめっき剥がれとの関係を知りたい、また、フローマークやウエルド部分の断面の流れの状態を可視化したい、など多岐にわたっている。これらの問題に本手法を応用し、外観不良問題を

表-3 溶着温度を変化させた時のテストピース溶着部断面の樹脂流動状態と溶着強度

溶着温度	240°C	260°C	 配向弱い ↑ ↓ 配向強い
分子配向状態	 ABS 共PC 1mm	 ABS 共PC	
溶着強度	33.9MPa	15.9MPa	

1つ1つ解決していくことによって、顧客ニーズにこたえる製品製造に貢献していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 加藤 淳：可視化情報学会誌，28 (111)，35 (2008)
- 2) 横井 秀俊：成形加工，29 (6)，176 (2017)
- 3) 坪井 誠太郎：偏光顕微鏡，岩波書店 (1959) p.154

著 者



松浦元司



上村明美



渡辺健市



水野克俊