



プラスチック射出成形プロセスの可視化技術

東京大学名誉教授・YOKOI Labo
横井秀俊

1. はじめに

射出成形は、レンズなどの光学部品をはじめ3次元形状を有する多くのプラスチック成形品を量産するための中心的な生産技術で、その工程は①ペレット状の樹脂を加熱シリンダで溶かし、②金型内のキャビティに射出して、③加圧下で冷却して固める、という極めて単純なプロセスで構成されている。単純な工程ながら、重さは数 mg から数 10 kg まで、形状精度も nm オーダーから鏡面転写など、極限的な製品仕様が求められる。また、ほぼ断熱材であるプラスチック材料を秒単位の短時間に熔融する。高粘度かつ非線形の流動特性を持つ熔融材料を、ときとして数 10ms 以下の極短時間に、数 10 μ m 以下の超薄肉領域に射出流動させ、数 10MPa の高圧下で冷却させる。繊維や充填材、高分子の流動配向や収縮異方性、結晶化プロセスなど、高度に複雑な因子で構成される成形加工プロセスには、想像を超えた多様な振舞い(=成形現象)を成形材料に発現させている。多種多様で複雑な成形不良(=予想とは異なった製品特性)がなぜ生成するのか。その成形不良をもたらす成形現象が未解明であれば、試行錯誤による手探りの対応が続き、莫大な損失をもたらす。未解明な成形現象を極める必要性がここにある。

さて、成形現象を明らかにするには、その状態変化について、一点計測よりは線状の分布計測、さらには面状の画像計測により、多くの情報量を獲得することが有効となる。画像計測(可視化)は、成形現象を大量の時系列面情報として抽出できる“最強”の計測技術で、とりわけ成形加工分野に発現する特異で複雑な現象の解明に、これまで威力を発揮してきた。射出成形には大別して、上記①の加熱シリンダ内と②、③の金型内の可視化技術があり、それぞれ長い開発の歴史と広い技術体系とがある。本稿では後者の金型内可視化技術の中から主として「光技術を利用した動的な可視化技術」に焦点を当て、筆者らが直接開発してきた技術を中心に解説する。なお、可視化技術は成形現象を極めるための入口にあるツールで、その先に広がる成形現象の解析の詳細は、別の解説記事等¹⁻⁴⁾を参照されたい。

2. 金型内の動的可視化技術の基礎編^{5,6)}

金型内成形現象の動的可視化は R.S.Spencer と G.D.Gilmore による Photo Mold (1951 年) に始まり、世界中で多種多様な可視化金型が開発されてきた。著者らは 1986 年に、成形機に搭載し実際の成形現象を可視化できるプリズムガラスインサート金型を開発し、様々な型内現象の可視化解析を実施してきた。石英ガラスキャビティの耐圧強度は現在では 80MPa まで改良され、キャビティ厚さ 0.5mm までの充填現象の解析に適用がなされている。いずれも金型の一部を石英ガラスなどの透明な素材に置換して用いられるが、低い加工精度、金属との線膨張率の違いなどを補償するため、ガラスブロックのモールドベースへの装填方法に工夫が必要となる。一般には楔による固定方式が用いられる。耐久性を犠牲にすれば、AM 技術による任意の 3 次元形状の透明樹脂ブロックを装填して、充填過程の可視化も行われている。金型内充填現象はますます高速化している。例えば超高速射出成形では型内