射出成形

館 山 弘 文*

1. はじめに

近年、あらゆる製品の製造拠点が中国、東欧・ロシア、あるいは東南アジアへ移った。その結果、安価な商品が市場に溢れるようになった。さらに発展途上国のマーケットが、著しく拡大した。このようなグローバルな環境の中、射出成形ビジネスにおいても、新規な技術開発より、市場の拡大と生産拡大に合わせ、低価格な成形装置や合理化機器、あるいは安価な生産方法が興味の対象となる。例えば世界最大のプラスチックの展示会であるドイツデュッセルドルフのKや米国シカゴのNPEでも、近年新しい射出成形要素技術の発表がほとんどない状況が続いた。いっぽう国内では、携帯電話を初め、情報通信機器、家電・AV機器、OA機器、自動車などのマーケットが飽和してきた。各メーカーは価格競争で対応し、部品の海外調達に拍車がかかった。このようにして、国内の射出成形においても、金型や成形品の価格が急激に低下し、ビジネスカテゴリーによっては、しばらく新しい技術の開発や採用さえ停滞していた。

ところが最近では、各製品のデザインの多様化や高級化志向が急速に強まってきた。射出成形においても、新しい技術や新しい材料が積極的に導入されるようになってきた。また環境対応・環境低負荷技術の開発も積極的になった。

本稿では、まず最近の射出成形に関する各ビジネスカテゴリーおよび関連業界の動向を振り返り、さらにその中から話題になった技術をトピック的に取り上げる。ただし筆者の知見の範囲が狭いため、カテゴリーが偏ることをご了解願いたい。

2. 主なビジネスカテゴリーの動向

ここでは主に情報通信関連、デジタル家電関連、自動車関連における最近の商品の動向、プラスチック射出成形技術に対するニーズあるいは対応する技術を簡単にまとめる。

いずれのカテゴリーも、機構部品は小型化、高精度化しており、外観デザインは著しく多様化している。特に外観部品は、同モデルでも異なる素材感やカラーバリエーションの展開が増え、高級感ある意匠が求められている。さらに新商品開発サイクルの短縮、新モデルの世界同時立ち上

げ、グローバル同品質などが共通の課題となっている。

2.1 情報通信関連

携帯電話、デジタルカメラ、モバイルPCなどは、年々小型化、薄型化、高機能化してきた。そのため筐体は常に薄肉・軽量化の限界が求められる。そこで高速射出成形が、広く普及した。またデザインの多様化に伴い、高度な加飾技術が求められている。従来は成形後の二次加工として塗装や装飾メッキなどを施すのが一般的である。しかし、最近は様々な模様や幾何学的パターンなどのニーズが多くなり、塗装やメッキ等だけでは表現が難しくなってきた。さらに光沢感も求められるため、例えばパターンフィルムのインサート成形などが採用されることも多くなった。

狭ピッチコネクタなどの電子部品関連やプラスチック光学系機構部品は、一段と小型化・微細化し、高精度化が図られてきた。さらに光学系では、光コネクタやマイクロレンズアレイなども実用化が進められた¹⁾。

この分野で新たにブルーレイ・ディスクが記録メディアとして投入され、従来にも増して高密度な転写成形技術が求められている。

2.2 デジタル家電関連

デジタル家電を代表するTVは、急速にプラズマTVや液晶TVに置き換わった。さらにフラットテレビは、大型化へ進んだ。そのため外装は高級な意匠が求められてきた。最近の傾向として、ピアノブラックと呼ばれる深みのある高光沢意匠が好まれている。それに対応するため、高温金型による高転写成形技術が広まった。さらにカラーコーディネートしたパネルやメタリック調モールなどの飾りパーツを張り合わせて、より豪華に見せる工夫がされている。これらにはフィルムインサート成形技術も多く使われている。その他のデジタル家電の筐体も、同様なデザインの方向にある。

液晶TV用バックライトの導光板や拡散板は、年々大型化かつ薄肉化の方向にあり、射出圧縮成形により高精度な成形品を生産している。

2.3 自動車関連

自動車の課題として軽量化がある。高強度な長繊維含有熱可塑性樹脂を用いたフロントエンドやドアモジュールプレート等が実用化された^{2),3)}。この樹脂の活用は、今後ますます増えると思われる。

エンジンルーム内のプラスチック化も進んだ。例としてシリンダーヘッドカバーやインテークマニホールドがある。

* Tateyama, Hirofumi
ウィッツェル(株)
東京都千代田区飯田橋4-8-13 (〒102-0072)
2008.7.1 受理

樹脂化したインテークマニホールドは、小型車から大型車まで搭載されるようになった。当初ロストコア成形やダイスライド成形などでも一体成形されたが、現在は成形パーツを振動溶着法やレーザー溶着で組立っている⁴⁾。また一部の車種でスロットルボディが樹脂化された⁵⁾。一般には、アルミダイキャスト品を削り、ボア部の真円度を確保している。射出成形品でその精度を確保するのは非常に難しく、スロットルボディの樹脂化を広める大きな課題となっている。

サンルーフやリアウィンドーガラスなどの樹脂化が、海外で盛んになってきた⁶⁾。最近では国内でも研究が進んでおり、耐候性や耐傷付性の改善処理技術が課題となっている。

内装部品は、高級化の志向がますます強くなっている。高級車では、高級感のある布貼りやスラッシュ成形品と発泡層を持つシートの貼り合せなど、工数がかかる二次加工加飾技術が採用されている。普及車では、落ち着いた低光沢のシボが要求され、転写技術などが検討された。

従来の部品の組立てを合理化するため、成形品の一体化やモジュール化が進んだ。金属部品のインサート成形による組立てや、ランプ部品やエアコン部品あるいは小物機構部品などで型内組み立てが実施されている。また熱可塑性エラストマーとの型内組立てもかなり普及してきた⁷⁾。

環境対応技術も盛んである。ケナフ材などの天然繊維の活用や植物由来樹脂の導入などが話題となった、また燃料電池用セパレータの成形も話題となっている⁸⁾。

3. 関連業界の動向

3.1 金型

この10年間で、金型構造は益々複雑になり、かつ高精度が要求されてきた。同時に納期の短縮や価格のダウンも著しいものがある。さらにグローバル同時立ち上げや世界同品質などが要求された。これに対応するため、広く普及してきた製品の3次元ソリッドモデルデータを、金型CAD/CAMにおいて、直接活用しようとする研究・開発が盛んに進められてきた。ただし、データ品質の問題等さまざまな課題があり、現状は必ずしも順調に進んでいない。さらにそのデータを用い、簡易的に金型の構造解析や機構解析さらには熱解析や樹脂流動解析も進められている。

加工設備においては、金型加工の効率化や高精度化を目指して、高速ミリングマシンや高速放電加工機などが広まり、成果を挙げている。さらに多軸工作機械や複合加工機などの新しい加工機械や方法が広まろうとしている。また微細加工用の新しい型材や工具の開発も進展した。ラピッドプロトタイピングの型への適用も進められている⁹⁾。これは金属粉末をレーザーで焼結し、同テーブルで機械加工し寸法精度を確保する。金型の工期が短縮でき、成形時のガス抜けがよい、ただし現状は、大型化や耐久性などに関して課題が残されている。発展著しいアジア諸国等の金型との技術的差別化を図るため、型内組立てのような複雑な機構をもつ金型が生まれた。これらは自動車部品などで積極的に使われているものの、金型が高価になるため、大物の成形品ではなかなか採用されていない。金型冷却回路の新たな加工技術が検討され、ハイサイクル成形に展開されようとしている¹⁰⁾。また、金型表面処理として、ナノサイズのダイヤモンド粉末を拡散させたクロムメッキが、磨

耗や離型性改善に用いられた¹¹⁾。

3.2 成形機関連

電動射出成形機は、省エネルギー、低振動・低騒音、ハイサイクル効果などが評価され普及してきた。現在国内の成形機は、小・中型機のほとんどが油圧駆動方式から、全電動駆動方式に変わってきている。さらに高速電動サーボモータを搭載した成形機も登場し、薄肉成形などに活用されている。一方、大型成形機は、一部のメーカーですでに全電動化した機種をラインアップしているものの、油圧型締めユニットと電動射出ユニットのハイブリッド機が多い。特に海外の成形機メーカーは、ハイブリッド機が強い¹²⁾、¹³⁾。電動型締めユニットは、基本的にトグル方式のため、成形機の寸法が大きくなり、これまでの進めてきた省スペースの流れに逆らうことになる。大型機的全電動化が進みにくい要因のひとつでもあると思われる¹⁴⁾。

成形機を電動化することによって、当然各動作の制御が容易で、再現性、安定性がよくなる。しかしプラスチック射出成形において、射出するのは溶融した樹脂であり、必ずしも機械動作の精度と成形精度とは一致しない。このため最近の電動成形機のスクリー動作は、むしろ従来の油圧方式の動作に近づけるように制御する方向にある。

平面化したスクリーを搭載した超小型卓上成形機が開発され、話題となった(図1)。

成形のトレイサビリティを高めるため、成形機でのオンライン計測技術も注目を集めた¹⁶⁾。

3.3 CAE

製品設計者や金型設計者が、設計しながら容易に射出成形のシミュレーションできる安価なツールが手に入るようになった。一方、ソリッドモデルによる3次元詳細解析ツールが開発され、従来難しかった射出成形のそり解析や外観不良の解析・予測が可能になるといわれている。現在その評価が進行中である。さらに射出圧縮成形や多層・多色成形などが解析できるようになり、繊維配向解析や光学性能評価解析のツールも開発された。このような新たな解析ツールや手法の登場で、今後成形品デザインや金型デザイン、成形材料あるいは成形条件などの最適化の精度が、いっそう向上していくことを期待したい。

4. 射出成形技術の進歩

ここでは、前述の各ビジネスカテゴリーで用いられている成形技術を補足説明する。さらにその他の技術で、最近研究報告が多いものをピックアップする。

4.1 加飾技術

従来の成形品の加飾技術として、一般的に成形材料の着色、金型のシボ・パターンエッチングあるいは成形後の塗装などがある。あるいはメッキ、蒸着、印刷やいわゆる墨

図1 超小型成形機とフラットスクリー¹⁵⁾

流し、ホットスタンピングなどが適用される場合がある¹⁷⁾。一方、成形工程内で加飾する技術としては、マルチカラー・マルチマテリアル成形、加飾転写フィルムを用いるインサートモールド、またプレフォームした加飾フィルムをインサートモールドする手法などがある¹⁸⁾。

例えば携帯電話は、一般にカラーベースコートの上に、傷防止のためUV塗料をトップコートしている。ここ数年は、メタリック調が好まれ、かつ光沢感のある意匠が好まれるようになった。成形品にメッキあるいは蒸着などのメタライジング処理後、さらにカラーUV塗装などで加飾する工法が取られている。塗料・塗装技術は、年々進化し質感なども向上してきた。ところが最近では、幾何学的パターンや様々な模様、従来に比べてよりソフトタッチなバックスキン調、ファブリック調などと意匠の多様化が進み、塗装などの手法ではその表現が難しくなってきた。

そこでデザイン層を事前に形成したフィルムや、他の素材を裏打ちしたフィルムをプレフォームし、成形時にインサートする成形法が採用されるようになった。フィルムの印刷や処理方法は、一段と進化しており、高い意匠性が表現できる。フィルムインサートのベースフィルムは、厚みがあるため深みがある表現ができる特長もある。さらにフィルムへの多層コートなどにより、本物の質感に近づいてきている¹⁹⁾。自動車関係では、同様な技術として表皮一体成形技術が採用されてきた。

最近では、フィルムインサート成形後、さらにホットスタンピングする方法も提案されている²⁰⁾。また0.3 mm程度の金属箔をインサートし、絞り成形、さらに打ち抜きを型内で行う方法も提案されており、よりリアルな質感や触感が得られる可能性がある²¹⁾。このように、今後も付加価値の高い加飾方法として、さまざまなシートや箔のインサートモールドが広まっていくと思われる。

加飾の手段として、型内塗装技術も提案されている(図2)。厚い塗膜でひけやウェルドなどの外観不良を改善できる利点もあるが、成形品形状の適応制限などもあり、まだ実績は少ない。

図2 型内塗装技術²²⁾の工程

4.2 高品位化技術

射出成形では、特有のウェルドラインやフローマークなどの外観不良が発生する。

最近では高級感を出すため、高光沢の意匠が多くなり、成形品表面は、わずかな外観不良でも許されなくなってきた。また深みを出すため成形品に光沢塗装を施す場合でも、高光沢塗料は隠蔽力がなく、成形品の生地不良がそのまま塗装品質に反映される。このようなことから、外観不良を改善し、かつ高光沢成形品が得られる高品位化成形技術が求められてきた。

基本的には、金型表面の転写性を向上させることによって、高品位化ができる。非結晶性樹脂の成形において、金型の温度を樹脂のガラス転位温度(Tg)近傍で成形すると、転写性が著しく良くなり、ウェルドライン等の外観不良が、ほとんど目立たなくなることは周知である。最近では成形サイクル内において、樹脂の充填時に金型温度を高温にし、冷却工程で金型温度を急速に低下させる方法(図3)が採用され、TVの筐体や飾りパネル等大型の成形品でも実施されている。このような熱サイクルによる方法は、多大なエネルギー消費を伴うことや、大型の成形品になると金型の熱容量が大きく、成形サイクルが長くなることが課題となっている。また鏡面金型のモールドデポジットや錆などの保守管理も難しい。

関連する技術として、金型の熱サイクルをシミュレーションする技術も報告されている²⁴⁾。さらに、超臨界二酸化炭素を活用した高転写成形法も提案されている²⁵⁾。

高光沢成形に関する問題として、成形品の表面に汚れやごみが付着した場合、目立ち易く、さらに拭いたときに傷がつき易いことである。成形性がよくかつ耐汚染性、耐傷付性のよい成形材料の開発、あるいは表面処理方法の開発が待たれている。

4.3 型内組立て

高付加価値技術として、マルチコンポーネント成形技術が注目されている²⁶⁾。後加工で組立てていた複数のパーツを、複合一体成形する²⁷⁾。

自動車部品では、これまでも金属部品や樹脂部品のインサート成形が進んでいる。

最近では、部分的に熱可塑性エラストマーをオーバーモールドする成形品が増えている。機能性付与や、ソフトタッチの質感が付与されるだけでなく、デザインとして利用することは、欧米市場では以前からよく行われていた。最近では、国内でもさまざまなカテゴリーで採用事例が見られるようになってきた。

PCのマルチカラー・オーバーモールドによる樹脂ガラス部品は、欧州から紹介された²⁸⁾。射出圧縮技術に

図3 成形サイクル内の急速加熱冷却温調²³⁾

より歪の低減を図っている（図4）．国内でも同様な研究を進めている．

金属と樹脂の射出接着技術が成形の可能性を広めている．金属と熱膨張の違いが大きいとそり変形が生じるため，ガラス繊維やフィラー等を含むPBTあるいはPPSなど樹脂の選定が限定される^{29),30)}．（図5）ただし，他の素材との複合一体化品するときは，ディスアセンブリ性やリサイクル性を考える必要がある．

立体回路形成技術（MID = Molded Interconnect Device）も進化している．2面の金型を用いる2成形法と一回成形法に大別できる．1回成形法はさらにUV露光法とレーザーイメージング法がある³¹⁾．最近では1回成形法で高密度な回路形成が出来るようになり，携帯電話のアンテナやセンサー等の小型化に寄与している³¹⁾（図6）．

図4 樹脂化した自動車ガラスとオーバーモールド用金型/成形機²⁸⁾

図5 金属と樹脂の一体成形品³⁰⁾

4.4 超臨界流体利用技術

発泡成形は，軽量化の手段として従来から広く活用されている．ただし発泡倍率を上げていくと機械的強度が著しく低下してくる．これに対し，超臨界二酸化炭素や窒素を活用することによって，微細な発泡セルができ，成形品強度の低下が抑えられるということで盛んに研究が行われた³²⁾．しかしこれまでさまざまな試みを行ってきたが，複雑な形状で発泡セル径を均一に制御し，かつ発泡倍率を上げることが難しく，国内では発泡成形のそり・変形の低減効果を利用した機構部品の実用化にとどまっている．最近では材料面から改善する研究が多くなっている³³⁾．

外観部品では，発泡品特有のいわゆるスワールマークが製品化の障害となっている．改善策として，ソフトタッチの樹脂をオーバーモールドした成形法が，自動車部品として紹介された³⁴⁾．

超臨界二酸化炭素が樹脂に溶解すると，いわゆる可塑剤的な働きをする．これを利用して，難成形材料の成形性改善や成形品表面外観の改善，あるいは超微細パターンの新たな転写技術が提案された．発泡技術と合わせて，これらの方法を表1に示した．

最近では超臨界二酸化炭素を利用して，型内で成形品表面を改質する研究もされ，表面の濡れ性改善³⁵⁾，染色技術³⁶⁾，無電解めっき技術³⁷⁾などが報告されている．

超臨界流体を使用したプロセスは，グリーンサステナブルケミストリーの視点でも注目を集めている．超臨界流体に関しては，まだまだ未知なところがあり，今後も基礎的な研究が必要と思われるが，将来さまざまな技術分野で活用される可能性がある．

4.5 マイクロ成形・ナノ転写成形

マイクロ・ナノ技術は，21世紀のキーテクノロジーの

図6 立体高密度着回路（MID）によるセンサー³¹⁾

表1 超臨界流体を利用した主な射出成形技術の比較

流体注入箇所	射出シリンダー	射出シリンダー	金型	金型
注入タイミング	可塑化時	可塑化時	型締め直後	樹脂注入直後
成形機/金型仕様	専用成形機	専用成形機	ガスシール	—
効果	微細発泡	樹脂流動性改善 外観不良改善 転写性向上		転写性向上 外観不良改善
図解
事例	MuCell	AMOTEC		MUCOA

図7 超音波を利用した高転写成形法⁴¹⁾

ひとつとして注目されている。

10年ほど前、極小の(1mm以下)成形品用の成形機が発売され話題になった。最近ではさまざまな成形機メーカーがこの分野に参入し、0.1cc程度の成形品が安定して成形できる機械も現れた³⁸⁾。

さらにサブマイクロンあるいはナノレベルの超微細パターンの成形転写に関しても、盛んに研究されている³⁹⁾。すでに光ディスクやあるいはバックライト用の導光板や拡散板など、主に光学系部品の成形が実用化されてきた。またマイクロレンズアレイや反射防止機能を付与したレンズなどの報告がされている⁴⁰⁾。これらは、基本的に高速充填し、圧縮する成形法であるが、転写には樹脂温度や金型温度が大きく寄与する。超音波を利用して樹脂の流動性を改善する精密射出成形法が提案されている⁴¹⁾。(図7)

マイクロ・ナノ転写成形の応用として、光導波路、センサーやマイクロマシンのパーツ、オプティカルMEMSパーツ、さらにはバイオチップやマイクロリアクターなどが検討されている。いずれにしろ、まだ実用化例は少ない。

この分野の成形法としては、ナノインプリンティングが、射出成形より先行してきた。成形品が微細になればなるほど、デバイスとしてのアセンブリーが難しくなり、3次元形状と微細パターンを一体成形できる射出成形に優位性がでてくる。二つの成形法は、いずれ各応用分野が棲み分けられていくと思われる。

パターンが超微細になれば、金型の加工が困難になる。現状は集束イオンビームなどで基盤に描画し、それをNi電鍍によって反転して金型を作製している^{42), 43)}。ただし問題は、離型性である。今後のマイクロ・ナノ成形の展開は、超微細パターンの金型加工技術、表面の濡れ性および離型改善技術、さらに計測技術の進歩に因るところが大きい。

4.6 その他の高付加価値成形

この10年間で実用化されたその他の新たな高付加価値成形技術として、パイプ状中空製品に適するウォータアシスト成形⁴⁴⁾(図8)、ファブリックやガラス繊維の弾性回復を応用した射出膨張成形⁴⁶⁾、バインダーとして澱粉と水を用いる環境に優しいパルプ成形技術⁴⁷⁾(図9)などある。今後の応用展開が楽しみである。

5. おわりに

この10年間、さまざまな素材とさまざまな成形技術のインテグレートによって、新しい意匠や質感表現、あるいは

図8 ウォータアシスト成形による2材成形(自動車用冷却パイプ)⁴⁵⁾

図9 パルプ射出成形の工程と成形品(ディスクケース)⁴⁷⁾

は付加価値が生まれた。

今後は、さらに本物の素材あるいは天然素材等との張合せ・組立て成形技術へと進展する可能性がある。また他の加工方法による成形品と射出成形の複合一体化により、更なる高付加価値化も考えられる。

ところで、現在実用化されている成形技術の多くは海外で開発されたものである。今後日本オリジナルな技術がどんどん誕生することを期待したい。

参考文献

- 1) 酒井浩司：成形加工，20(2)，163(2008)
- 2) 古橋章：プラスチックスエージ，54(Mar.)，86(2008)
- 3) 坂上守：工業材料，56(6)，63(2008)
- 4) 坪井昭彦：成形加工，18(6)，380，(2006)

- 5) 森智明：プラスチックスエージ, **54**(Feb.), 60(2008)
- 6) 工業材料編集部：工業材料, **55**(6), 134(2007)
- 7) 森智明：プラスチックスエージ, **54**(Mar.), 54(2008)
- 8) 本松誠：成形加工, **16**(2), 85(2004)
- 9) 米山猛, 香川博之, 末廣栄覚, 阿部論, 宮丸充：成形加工, **19**(10), 662(2007)
- 10) 岡村哲也：型技術, **22**(5), 014(2007)
- 11) Steven J. Bales：Injection Molding, **16**(6), 34(2008)
- 12) 坂上守：プラスチックスエージ, **54**(Apr.), 106(2008)
- 13) 坂上守：プラスチックスエージ, **54**(Jun.), 120(2008)
- 14) 高取宏幸：成形加工, **18**(10), 729(2006)
- 15) 中小企業庁：元気なものづくり企業 300 社 HP より(2004)
- 16) 鈴木康平, 佐竹善悦, 高谷浩志, 高橋静雄：成形加工, **17**(8), 537, (2005)
- 17) 鶴巻恒雄：プラスチックスエージ, **54**(Mar.), 64(2008)
- 18) Michelle Maniscalco：Injection Molding, **16**(6), 38(2008)
- 19) 萱沼淳一：プラスチック, **58**(10), 25(2007)
- 20) 編集部：Plastics Info World, **10**(3), 26(2008)
- 21) 編集部：Plastics Info World, **10**(2), 46(2008)
- 22) 宇部興産：インプレスト成形 HP より
- 23) 今枝智：プラスチックズエージ, **58**(Feb.), 82(2008)
- 24) 稲熊孝浩, 舘山弘文：成形加工 '05, 253(2005)
- 25) 舘山弘文：射出成形品表面の転写向上技術, 成形加工, **18**(10), 713(2006)
- 26) 古橋章：日刊工業新聞社, 高付加価値プラスチック成形法(2008)
- 27) 龍野道宏, 竹内康彦：成形加工, **17**(2), 71(2005)
- 28) Buttenfeld 技術資料
- 29) 齋聖一, 小林伊知郎：成形加工, **16**(8), 506(2004)
- 30) 大成プラス 技術資料
- 31) 松下電工 MIPTEC の HP より
- 32) 瀧健太郎：発泡成形, 成形加工, **19**(7), 424(2007)
- 33) Tsuchiya, A., Tateyama, H., Kikuchi, T., Takahashi, T. and Koyama, K.：Polymer Journal, **39**(6), 514(2007)
- 34) Michelle maniscalco, Mucell：Injection Molding, **15**(4), 30(2007)
- 35) 金澤彰裕, 舘山弘文：成形加工シンポジア 06, 23(2006)
- 36) 三島健, 松山清ら：超臨界流体と染色, 成形加工, **15**, 377(2003)
- 37) 遊佐敦, 野村善行, 阿野哲也, 山本智史：成形加工, **19**(11), 692(2007)
- 38) 編集部：Plastics Info World, **10**(1), 42(2008)
- 39) 舘山弘文：成形加工, **18**(10), 713(2006)
- 40) 大森滋人：成形加工, **19**(5), 259(2007)
- 41) 出光興産：出光 UIM の HP より
- 42) 西川宏之, 打矢直之：成形加工, **19**(5), 276(2007)
- 43) 小林道雄：成形加工, **18**(12), 865(2006)
- 44) Shih-Jung Liu：成形加工, **18**(10), 718(2006)
- 45) 黒須芳継：プラスチック, **57**(8), 28(2006)
- 46) 野村学：成形加工, **12**(4), 204(2000)
- 47) 横井秀俊, 丸野満義：成形加工, **19**(11), 681(2007)