

金型表面処理工法によるプラスチックの成形性向上に関する試験研究事業

谷萩 雄一郎* 安藤 亮* 早乙女 秀丸* 飯村 修志*

1. はじめに

茨城県はプラスチック製造品出荷額が全国上位であり（都道府県及び政令市別第2位，平成26年度経済産業省工業統計調査），県内の重要な基幹産業の一つである。現代社会においてプラスチックは，日用品，衣類，食品の包装材料などに用いられ，必要不可欠な素材となっている¹⁾。近年，自動車業界では，プラスチックを活用することで軽量化を図り，燃費を向上することが進められている²⁾。図1に，自動車に使われる主なプラスチック部品例を示す。

プラスチック部品は，ほとんどが射出成形で製造されている。射出成形はプラスチックを加熱筒内で可塑化溶解させ計量し，締め付けられた金型内に射出し冷却固化させる。射出成形を使用して良品をつくるには，金型や成形材料，射出成形条件などを組み合わせた広範囲の知識や技能が要求されている³⁾。

複雑形状や微細形状の射出成形では，熔融樹脂が冷却されて固化することが原因で，金型内に樹脂が充填しきれない（流動性の不足），または，金型表面の微細形状が樹脂表面に形成されない（転写性の不良），などの成形不良が生じることがある。

本研究ではそれらの課題解決のため，金型表面を加工して熔融樹脂への熱の伝わり方を制御することにより，流動性と転写性の向上を図ることを目標とした。

数種のコーティングを施した試験片を調達し，熱の伝わり方に影響する可能性の高い数々の物性値を取得した。第2に，流動長を比較するために薄板で細長い試験用キャビティを設計し，無成膜のときに成形条件と厚みによる流動性を調査した。この流動性データを先行して得ることにより，また，表面にコーティングを施したときの流動性を求めることにより，コーティングの効果を比較することが可能となる。

3. 供試材

図2に供試材料を示す。SUS304 基板の片面に薄膜コーティングを施したものである。左より順に，PTFE，ポリイミドおよびPEEK 材の3種類である。供試材の大きさは 10mm×10mm であり，基板と膜厚の組み合わせを表1に示す。



<PTFE> <ポリイミド> <PEEK>

図2 供試材

表1 供試材の基材と膜厚の組み合わせ

種類	基材厚さ [mm]	膜厚 [μm]
PTFE	0.3	20
	0.3	30
	0.5	50
ポリイミド	0.3	30
	0.5	50
PEEK	0.3	30
	0.5	50

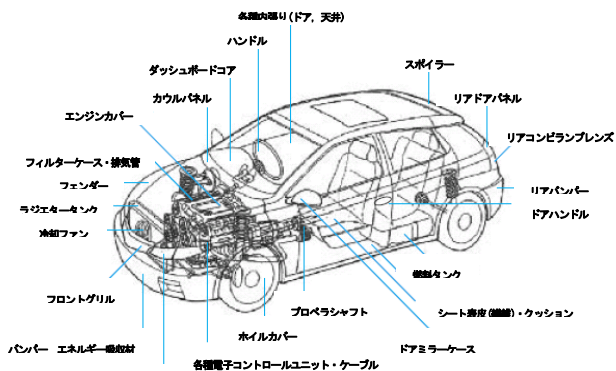


図1 自動車に使われる主なプラスチック部品例²⁾

2. 目的

本研究では熱可塑性樹脂を対象とした射出成形時の流動性の向上と転写性の不良改善を図ることを目標としている。それらの解決には，①射出成形条件の最適化，②流動性の優れた樹脂の使用，及び③熔融樹脂が流れるキャビティ表面状態の調整，など数々の方法がある。本研究ではそれらの方法の中で，主として金型表面にコーティングを成膜し，熔融樹脂への熱の伝わり方を制御する方法を研究することにより，流動性と転写性の向上を図ることを目標としている。

熔融樹脂への熱の伝わり方を制御する効果の高いコーティングとして，樹脂に由来する材質が期待される。そこで今年度の目標として，第1に樹脂に由来する複

4. 研究内容

4.1 供試材の特性試験

コーティングに課せられる役割としては，熱可塑性の熔融樹脂と金型との熱の伝わり方を制御するだけでなく，金型への接着性や耐久性の機能も要求される。金型との熱の伝わりやすさには，単にコーティング材質の熱拡散率もさることながら，その他にもコーティングの表面性状や表面粗さなどの影響も考えられる。また，耐久性には膜の硬さが大切な要素となる。

それらの基礎的物性値を得るために，供試材表面に施されたコーティングを対象に，以下，4種類の試験と観察を実施した。

①コーティング表面のマクロ観察と成分分析

成膜したコーティングの表面性状を確認するため顕微鏡観察と元素分析を行った。使用した装置は，マイクロスコープは株式会社ハイロックス製 KH-8700，

*繊維工業指導所 素材開発部門

微小蛍光X線分析装置は株式会社堀場製作所製 HORIBA XGT-5000 である。

②コーティング膜の表面粗さ試験

膜表面の表面粗さを測定した。測定には、アメテック株式会社製、フォームタリサーフ PGI 1240 型を使用した。図3に示す。

③膜表面の濡れ性試験

膜表面の濡れ性を調べるため、常温の水を用いた接触角を測定した。測定には、株式会社エキシマ製 SImage mini を使用し、付属のソフトウェア SImage-V05 にて角度を求めた。図4に示す。

④コーティング膜の硬さ試験

微小ビッカース硬度計を使用し、コーティングの硬さを比較した。測定には、株式会社ミットヨ製 HM-220 型を用いた。図5に示す。

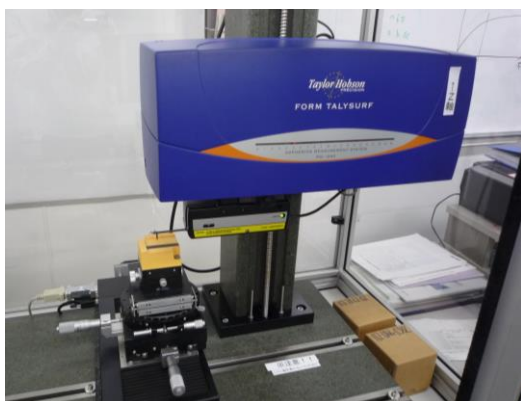


図3 表面粗さ測定器

4.2 流動解析による流動長の比較

流動長を比較するためのキャビティ形状として、熔融樹脂の流れ方向に 180mm の長さを有する幅 20.32mm の薄板形状を設計した。薄板部の厚さは、0.4~0.7mm の間で 0.1mm 刻みで 4 種類設けた。図6に3次元 CAD モデルを示す。

本研究では、樹脂流動解析を行うことにより、成形条件や樹脂の種類による充填状況を調査した。主として、樹脂温度と射出速度および樹脂材料による影響を比較した。樹脂温度は 160~200℃まで 20℃刻みで 3 条件、射出速度は 5, 10, 20, 50, 100mm/s と 5 条件とした。使用した樹脂は PP の一種である株式会社プライムポリマー、Prime Polypro J-750HP およびそれより粘性の低い J679 とした。金型温度は 40℃、成形機最大圧力は 180 MPa と共通した設定とした。表2に条件の一覧を示す。なお、使用したソフトウェアは、オートデスク Moldflow 2017 である。

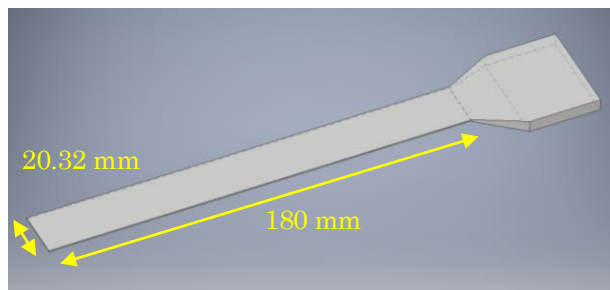


図6 流動長比較用解析モデル



図4 接触角計

表2 流動長さ比較解析の設定条件

項目	値など
樹脂温度	160, 180, 200℃
射出速度	5, 10, 20, 50, 100 mm/s
金型温度	40℃
成形機最大圧力	180 MPa
樹脂	J-750HP, J679

5. 研究結果と考察

5.1 供試材の特性試験

①コーティング表面のマクロ観察と成分分析

成膜したコーティングの表面性状を確認するため顕微鏡観察と元素分析を行った。図7に、400倍での観察結果を示す。PTFEは、黒色の樹脂と推測されるものの他に金属色の繊維が混在しているように見える。ポリイミドは、ほぼ均一の材料で構成されているように見え、大きな凹凸も観察されない。PEEKは、表面に小さな凹凸がある。

次にPTFEに混在した金属色の繊維を特定するため、微小蛍光X線解析を行った。図8にその結果を示す。図8では、Al, S, Cr, FeおよびNiが観察された。これらのうちCr, Fe及びNiは基材であるSUS304由来の元素と推定される。従って、残りのAl, Sのうち、Alが繊維状となって混在していると推定された。

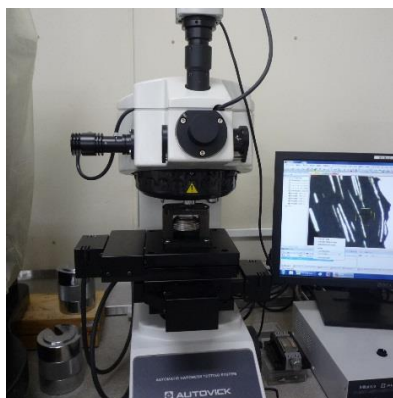


図5 微小ビッカース硬度計

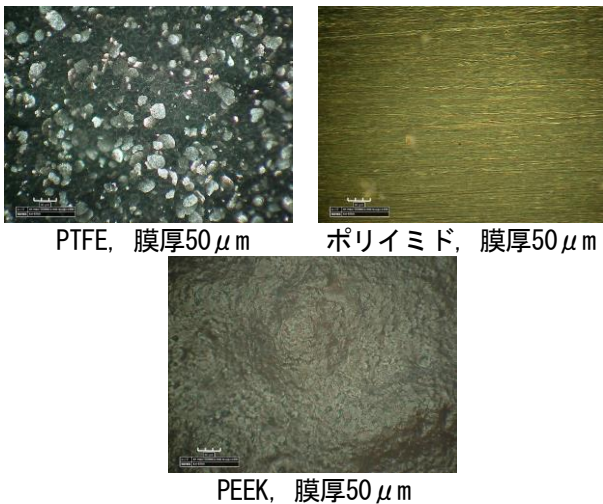


図7 コーティング表面の顕微鏡観察

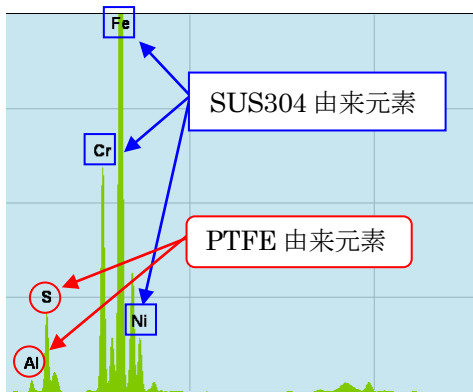


図8 PTFEに混在した金属色繊維の微小X線分析結果

②コーティング膜の表面粗さ試験

表3に、それぞれのコーティングについて、膜厚50 μmの供試材を5枚ずつ測定した結果を示す。粗さの指標として、算術平均粗さRaを求めた。

材質による比較では、ポリイミドが最も粗さが小さく、PEEKおよびPTFEは比較的粗さが大きい。これは図7の顕微鏡で観察した表面状態によるものと考えられる。膜厚による比較では、いずれの材質でも膜厚が増えるにつれ粗さが増加したが、個体間によるバラツキも大きいために、より観察数を増やした比較が必要と考えられる。

表3 算術平均粗さ Ra の比較 (単位: μm)

PTFE						
膜厚	1	2	3	4	5	平均
20	4.66	2.88	4.03	2.85	3.92	3.67
30	3.97	4.36	3.84	3.80	3.27	3.85
50	4.51	5.07	3.68	4.36	3.64	4.25
ポリイミド						
膜厚	1	2	3	4	5	平均
30	0.50	0.33	0.41	0.31	0.47	0.40
50	0.30	0.25	0.40	0.67	0.56	0.43
PEEK						
膜厚	1	2	3	4	5	平均
30	2.48	2.50	2.68	3.35	3.53	2.91
50	3.81	3.56	4.71	2.50	2.50	3.42

③膜表面の濡れ性試験

表4に、材質と膜厚毎の接触角の測定結果を、図9に膜厚50 μmの観察結果を示す。PTFEについては、接触角が90 degを超えた疎水性を示す。ポリイミドとPEEKは親水性となるが、75deg以上の数値となる。なお、表4の結果は観察枚数がそれぞれ1枚ずつのため、数を増やした比較が必要である。

表4 接触角測定結果

材質	膜厚[μm]	接触角[deg]
PTFE	20	112.6
	30	115.4
	50	118.5
ポリイミド	30	79.6
	50	77.2
PEEK	30	75.0
	50	86.4

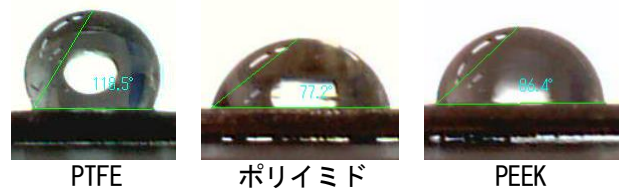


図9 接触角測定結果 (例)

④コーティング膜の硬さ試験

表5に、膜厚50 μmを対象とした硬さ測定結果を示す。それぞれ同一の供試材の中で、測定箇所を変更して5か所ずつ測定した。PTFEについては、金属繊維のない部分(非繊維部)と繊維近傍とに分けて測定した。その例を図10に示す。ポリイミドとPEEKは近い硬さを示したのに対し、PTFEは半数程度の数値となった。またPTFEは、非繊維部より繊維近傍で硬さが増加した。この結果からも、繊維の材質は樹脂よりも剛性の高い金属である可能性が示唆された。

表5 マイクロビッカース硬さ

番号	PTFE		ポリイミド	PEEK
	非繊維部	繊維近傍		
1	13.2	18.2	30.5	27.0
2	13.3	18.5	31.0	31.2
3	14.3	17.1	31.3	29.9
4	14.8	17.5	33.5	29.2
5	14.1	19.3	32.5	26.9
平均	13.9	18.1	31.8	28.8

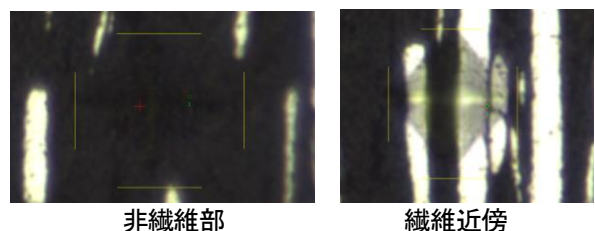


図10 PTFEの測定部

5.2 流動解析による流動長の比較

表6に、J-750HP及びJ679について、成形条件による充填状況の比較を示す。解析の結果、充填した条件を○、ショートした条件を×で示す。それらの結果から推定した、充填可能な成形条件の範囲を太枠線で囲む。またJ-750HPでは充填しなくとも、J679で充填した条件をハッチングで塗りつぶす。

成形条件による比較では、溝深さが深いほど、樹脂温度が高いほど及び射出速度が速いほど、充填しやすくなる。樹脂素材による比較では、J679のほうがJ-750HPより充填する条件範囲が広がった。これは樹脂の粘性係数が低く、流れやすいためと考えられる。また図11に、溝深さ0.6mm、熔融樹脂温度160℃、射出速度10mm/sの成形条件で、原料にJ-750HP、J679を用いた充填状況の比較を示す。J-750HPは、キャビティ先端まで熔融樹脂が到達せずにショートするが、対してJ679では、キャビティ先端まで充填したことが確認できる。

表 6 樹脂流動解析による充填状況の比較

J-750HP

溝 深さ [mm]	樹脂 温度 [°C]	射出速度 [mm/s]				
		5	10	20	50	100
0.4	160				×	
	180				×	
	200		×	×	×	×
0.5	160			×	×	○
	180				○	
	200		×	×	○	
0.6	160	×	×	○	○	○
	180	×	○	○	○	
	200	×	○	○	○	
0.7	160	×	○	○	○	○
	180	○	○	○	○	
	200	○	○	○	○	

J679

溝 深さ [mm]	樹脂 温度 [°C]	射出速度 [mm/s]				
		5	10	20	50	100
0.4	160	×			×	×
	180			×	○	○
	200			×	○	○
0.5	160	×	×	○	○	
	180	×	×	○		
	200	×	○		○	
0.6	160	×	○			
	180	×				
	200	×			○	
0.7	160	○				
	180					
	200				○	

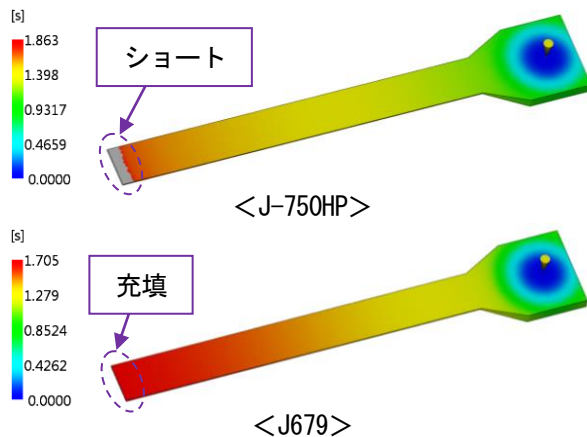


図11 充填状況の比較

5. まとめ

- ・熱の伝わり方を制御するために有効と考えられる樹脂に由来する複数のコーティングを施した試験片を調達し、種々の物性値を取得した。
- ・樹脂流動解析を行うことにより、充填する成形条件の範囲を特定することができた。

6. 今後の課題

コーティングを成膜した実験用金型を用いた成形試験を行うことにより、実験面から充填性の比較を行う予定である。また、種々のコーティング素材に対して流動性を評価することにより、適切な表面処理工法の特定を図る。

7. 参考文献等

- 1) プラスチック成形品の高次構造解析入門, 一般社団法人プラスチック成形加工学会
- 2) 日本プラスチック工業連盟 http://www.jpif.gr.jp/2hello/conts/column_c.htm
- 3) 図解入門 現場で役立つ射出成形の基本と仕組み, 株式会社秀和システム