

プラスチック 射出成形 技術大系

監修 本間 精一

第1章 射出成形技術の進展

第10節 スーパーエンジニアリングプラスチックの高品質射出成形技術

第1項 LCPの特徴と射出成形技術

上野製薬株式会社 深澤 正寛

1 はじめに

液晶ポリマー（Liquid Crystal Polymer：LCP）とは、溶融状態で液晶性を示すポリマーの総称であり、主要骨格にベンゼン環および／またはナフタレン環構造を含む剛直なモノマー（図1）によって構成される。その分子構造に由来し、さまざまな特徴を発現している。

LCPの具体的な特徴としては、高い耐熱性や流動性、耐薬品性や難燃性（難燃剤なしでUL94 V-0認定）、高周波領域における誘電特性、優れた絶縁破壊強さ、ガスバリア性、耐候性、振動減衰性、寸法安定性などが挙げられる。

特に当社（上野製薬㈱）ではLCPの主原料である、ベンゼン環骨格の

p-ヒドロキシ安息香酸（HBA）とナフタレン環骨格の6-ヒドロキシ-2-ナフトエ酸（HNA）を製造しており、それらを用いてLCPまで一貫生産をしている。また、世界的モノマーメーカーとしての合成技術力を活かし、モノマー構成や成分からの工夫による、新しい機能を持ったLCPの開発に注力している。

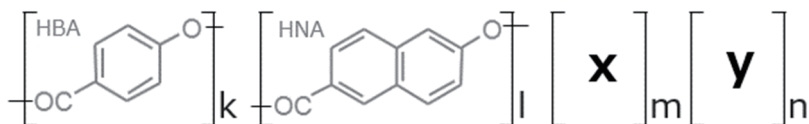


図1 LCPのモノマー構成例

2 LCPの特徴

2.1 LCPの射出成形性

剛直なモノマーから構成されるLCPは棒状の分子構造を持つため、射出成形加工性において極めて特徴的な挙動を示す。

LCPは溶融状態では棒状分子構造を有することにより分子鎖間の絡み合いが少なく、優れた流動性を示す。また一般に樹脂材料は固化時の結晶化に伴い収縮が起きるが、LCPでは溶融時の配向のまま固化するため収縮が少ない（図2）。同様の理由から固化速度が速いため、成形サイクルの短縮が可能である。具体的には約1mm程度の肉厚の成形品であれば保圧時間は1.0～2.5秒程度でよい。

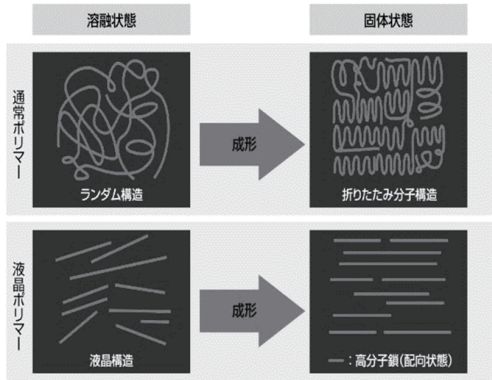


図2 分子構造のイメージ

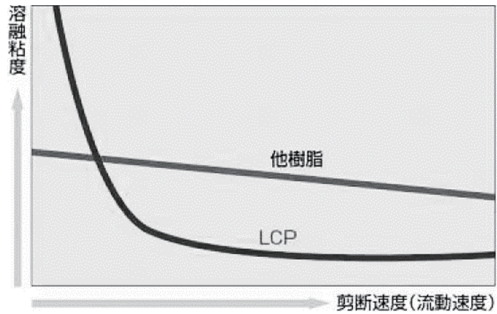


図3 溶融粘度のせん断速度依存性

さらにLCPは溶融粘度のせん断速度依存性が高く、射出成形の充填初期のような高せん断速度域では低粘度のため低圧での充填が可能となり、充填後期の低せん断速度では粘度が上昇するためバリの発生を抑制することが可能である(図3)。

以上に記すような、薄肉製品への高い充填性、高い寸法精度、成形サイクル短縮による生産効率向上といった理由から、LCPはコネクタなどの微細電気電子部品に特に広く使用されている。UENO LCPは高流動タイプをはじめとして、高強度、高耐熱タイプなどをラインナップしており、各種コネクタやモータインシュレータに広く採用されている。

2.2 LCPの機械強度の厚み依存性

棒状分子構造を有するためにLCPは流動方向への配向性が高く、配向方向に対しては高い機械強度を有する。射出成形時に金型との界面で形成されるスキン層は、より強いせん断がかかるため特に高い配向性を有し、LCPの高い機械強度を発現する原動力となっている。

表1にUENO LCP高剛性グレード「GT605」の厚みの異なる成形品の断面図を示す。断面を観察した際のガラス繊維(GF)の配向状態から、高配向層をスキン層として厚みを計測した。また成形品厚みに対するスキン層の占有比率を算出した。なおスキン層は金型との界面で形成されるため、図中の上面と下面の2カ所を計測した。

表1 UENO LCP「GT605」の成形品断面およびスキン層厚み

試験片厚み (mm)	通常観察像	偏光観察像	スキン層厚み (μm)	スキン層占有 比率(%)
0.5			70	28
3.2			190	12

表2 UENO LCP と他エンブラの一般物性の厚み依存性¹⁾

	単 位	ASTM	UENO LCP		芳香族 エンブラ	半芳香族 エンブラ
			GT605	3040G		
			高剛性	標 準		
			GF40	GF40	GF40	GF45
比 重	-	D792	1.72	1.72	1.67	1.53
引張強さ	MPa	D638 上：3.2 mmt 下：0.8 mmt	188	150	181	153
			202	160	160	147
引張伸び	%	D638 上：3.2 mmt 下：0.8 mmt	1.1	1.3	1.5	1.6
			1.1	1.3	1.2	1.4
曲げ強さ	MPa	D790 上：3.2 mmt 下：0.5 mmt	242	195	260	240
			343	240	245	177
曲げ弾性率	GPa	D790 上：3.2 mmt 下：0.5 mmt	19	14	15	14
			22	18	15	12
Izod 衝撃値<ノッチ付>	J/m	D256	57	80	80	93
荷重たわみ 温度	1.8 MPa	℃	D648	288	272	266
	0.4 MPa			> 295	> 295	-
成形収縮率	MD	%	上野法	0.0	0.0	0.3
	TD			0.6	0.6	0.9
0.2 mmt 流動長	mm	上野法	25	27	7	12

UENO LCP「GT605」のスキン層厚みは成形品厚みによって変化することが示唆された。また成形品が薄肉になるほど、成形品厚みに対するスキン層占有比率は高くなることがわかった。

表2に UENO LCP と他エンブラの一般物性の厚み依存性を示す。LCP は薄肉のときほど、相対的に引張・曲げ強度が高くなることがわかる。

2.3 LCP の耐リサイクル性

LCP は熱的・化学的に安定な熱可塑性樹脂であることから、リサイクル使用においても優れた特性を維持することが可能である。具体的には、射出成形時に排出され廃材となるスプルやランナ部分の粉砕片を、バージンペレットと所定の比率で混合する「リグラインド」が工業的に用いられている。

リグラインド使用により、樹脂の廃棄物量削減に貢献することができるほか、材料費の削減に寄与することができる。樹脂としては比較的高価な LCP であっても、その他のスーパーエンブラと比較してトータルでのコストダウンを実現している例が豊富にある。トータルでのコストダウンとはリグラインド使用による材料費削減効果のほか、LCP の特徴であるサイクルタイムの短縮、寸法精度が優れることによる金型改修費の削減、腐食性ガス低減による金型メンテナンス費用の削減などの効果を含めた意である。

表3に UENO LCP「UX101」のリグラインド使用時の各種物性の推移を示す。リグラインド 50%1 世代とは、バージン材を用いた成形品の粉砕材とバージン材ペレットを 50/50 で混合した

表3 UENO LCP「UX101」のリグラインド使用時の物性推移

		単 位	試験規格	UENO LCP UX101 (GF + MD 35)				
				バージン材	リグラインド 50%			
				0 世代	1 世代	3 世代	5 世代	10 世代
機械強度	比 重	-	ASTM D792	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69
	引張強さ	MPa	ASTM D638	111	108	106	108	105
	引張伸び	%	ASTM D638	2.8	2.6	2.5	2.6	2.4
	曲げ強さ	MPa	ASTM D790	135	135	136	135	134
	曲げ弾性率	GPa	ASTM D790	8.6	9.0	8.8	8.7	8.8
	荷重たわみ温度	℃	ASTM D648	254	250	251	250	249
燃焼性	燃焼性 0.75 mmt	-	UL94V	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0
成形特性	0.1 mmt 流動長	mm	上野法	8.3				9.2
	ブリスタ発生数 ^{※1}	%	上野法	15				11
	ソリ変形量 ^{※2}	加熱前	mm	480				440
		加熱後	mm	1020				1040

※1：過酷な試験片形状・成形条件での結果。50%以下がSMT対応可能と判定。

※2：過酷な試験片形状での結果。

ものを指す。またリグラインド 50% 3 世代とは、2 世代の材料を用いた成形品の粉砕材とバージン材ペレットを 50/50 で混合したものを指す。

10 世代に達しても、機械強度および成形時の特性において大きな劣化がないことがわかる。

3 SMT コネクタ向け LCP の特徴と射出成形技術

3.1 SMT コネクタ向け LCP の課題

昨今においても SMT(Surface Mount Technology) コネクタ市場の開発競争は活発であり、さらなる省スペース化を目的とした薄肉化要求は継続している。最先端の SMT コネクタ向けには、特に高い流動性が求められることからもっぱら高流動タイプの LCP が使用されている。また SMT コネクタの薄肉化や形状の複雑化に伴い流動性のみならず、さらに優れた低そり性や低ブリスタ性を併せ持つ LCP の要求が高まっている。

3.2 ブリスタの発生機構

SMT コネクタは実装時にリフロー炉での熱処理工程があり、その際のピーク温度は約 250～260℃程度が一般的である。このリフロー処理時の熱により、「ブリスタ」と呼ばれる樹脂片表面の膨らみが発生することがあり、実装不良の原因となる場合がある。

図4に、リフロー処理後の LCP 成形品表面に発生したブリスタ箇所の断面図を示す。ブリスタ箇所は周囲に対して目視でも認識できる膨らみを有している。一方、図5はリフロー処理前の LCP 成形品の断面図であり、表面の膨れが未発生の箇所である。

一般的にブリスタの発生は、成形時に成形品内へ巻き込まれた気泡が熱処理時に膨張することで発生すると考えられている。その前段階として、ブリスタの起点となり得る小さな亀裂や気泡

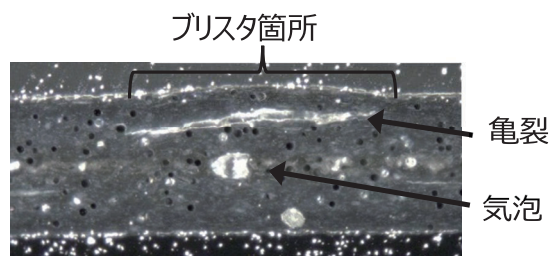


図4 プリスタ箇所の断面(リフロー処理後)

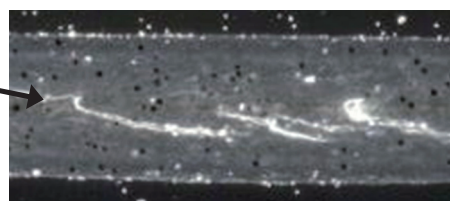


図5 断面の亀裂(リフロー処理前)

は成形時の充填状態などに起因して形成され、金型から離型する際の抵抗に起因してさらに大きな亀裂へ成長すると考えられる。

当社ではプリスタ発生機構の解明を開発にフィードバックし、プリスタ発生を抑制したグレードを、SMTコネクタ向けにラインナップし、広く採用されている(表4)。

3.3 プリスタを抑制する射出成形技術

LCPの射出成形においてプリスタを抑制するためには、気泡の巻き込みを低減することと製品内部の亀裂を低減することが肝要である。いずれの事象に対しても射出速度を低減するなどして低射出圧での成形条件とすることで改良の方向に向かう可能性は高いが、薄肉製品での使用が必然的に多くなるLCPの射出成形においては設計の制約により射出圧力を低減させることが困難であるケースも多い。

以下では、LCPの射出成形時の主要条件とプリスタ発生率との関連性について評価した結果を示す(図6～8)。

- ・射出速度の影響(図6)：低速度域ではプリスタ発生率は低い。一方、高速度域ではプリスタ発生率は増加する。これは、高速度域では型内エアが抜けにくく、エア巻き込みが増加することに起因すると考えられる。
- ・成形温度の影響(図7)：融点に対し、過剰に温度を上昇させることでプリスタ発生率が増加する。これは、過剰な粘度低下が起き、充填時のエア巻き込みが増加するためと考えられる。一方で、融点近傍ではプリスタ発生率は低く抑えられる。ただし、樹脂が十分に融けきらないことによる他の不具合が想定される。ハナタレなどによってノズル温度を下げる場合でも、シリンダ中部などを融点+10～30℃程度に設定することを推奨する。
- ・金型温度の影響(図8)：金型温度が低い(40℃)ときにプリスタ発生率は増加する。これは固化が速くなりすぎるためにエア抜けが不十分であるためと考えられる。また金型温度が過剰に高い(140℃)ときにもプリスタ発生率は増加する。これは、高温では金型からの離型時に固化が十分進行せず、離型の際の抵抗に耐えられず亀裂の発生が起きやすくなることが原因と考えられる。LCPのガラス転移点は約110～130℃といわれており、ガラス転移点近傍またはそれ以上の金型温度ではプリスタ発生率が増加すると考えられる。

表4 UENO LCP の SMT コネクタ向け LCP のラインナップ

	単 位	試験規格	UX101		6130GM (GS)		UX207		UM029	
			高流動 GF + MD 35		高流動 + 高耐熱 GF + MD 30		超高流動 GF + MD 30		超々高流動 GF + MD 25	
機械強度	比 重	-	ASTM D792		1.63		1.62		1.59	
	引張強さ	MPa	ASTM D638		160		120		157	
	引張伸び	%	ASTM D638		2.8		3.0		2.9	
	曲げ強さ	MPa	ASTM D790		170		140		162	
	曲げ弾性率	GPa	ASTM D790		11.6		9.0		11.5	
	Izod 衝撃値<ノッチ付>	J/m	ASTM D256		190		170		176	
	荷重たわみ温度	℃	ASTM D648		275		250		241	
燃焼性	燃焼性	-	UL94V		V-0@0.75 mmt		V-0@0.75 mmt		V-0@1.5 mmt	
成形特性	0.1 mmt 流動長	mm	上野法		10.2		11.6		14.9	
	ブリスタ発生数 ^{*1}	%	上野法		7		9		4	
	そり変形量 ^{*2}	加熱前	上野法		450		470		290	
		加熱後	上野法		1220		1060		860	

※1 過酷な試験片形状・成形条件での結果。50%以下が SMT 対応可能と判定。

※2 過酷な試験片形状での結果。

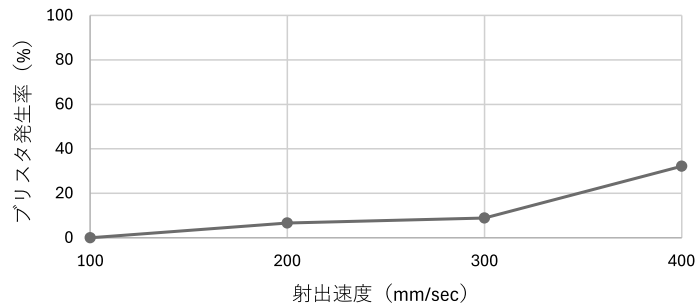


図6 射出速度とブリスタ発生率

※記載がない場合、以下の条件を標準とする。

- ・ 射出速度：300 mm/sec
- ・ 成形温度－成形材の融点：30℃
- ・ 金型温度：80℃

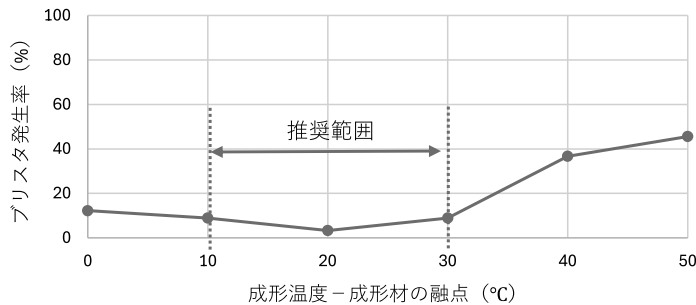


図7 成形温度とブリスタ発生率

※記載がない場合、以下の条件を標準とする。

- ・ 射出速度：300 mm/sec
- ・ 成形温度－成形材の融点：30℃
- ・ 金型温度：80℃

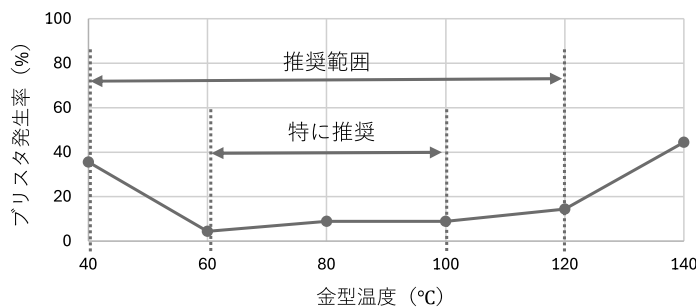


図8 金型温度とブリスタ発生率

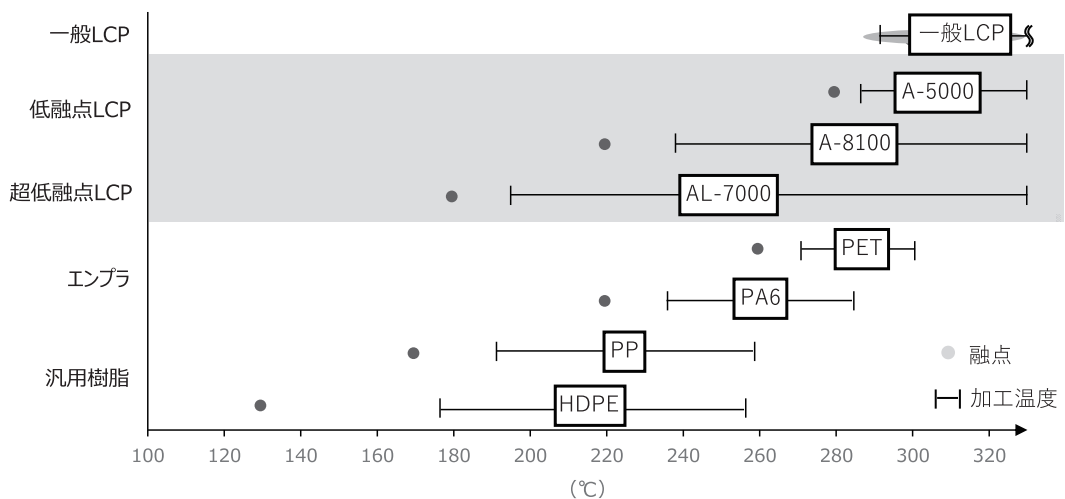
※記載がない場合、以下の条件を標準とする。

- ・ 射出速度：300 mm/sec
- ・ 成形温度－成形材の融点：30℃
- ・ 金型温度：80℃

4 低融点 LCP の特徴と射出成形技術¹⁾

当社は LCP のモノマーメーカーでもある優位性を活かし、モノマー構成を工夫することにより、全芳香族でありながら低温加工性を特徴とした低融点 LCP として AL-7000(融点 180℃)、A-8100(融点 220℃)、A-5000(融点 280℃)をラインナップしている(図9)。

この低融点 LCP を他樹脂に添加することで、LCP の特性である耐熱性や強度、そして、これまであまり活かされていない特性でもあるガスバリア性や耐候性、振動減衰性を付与することができる。2017 年に低融点 LCP と他樹脂(PET, PP, PE)とのアロイ品「UENO TECROS[®]」を上市し、複数のユーザにて採用に向けた各種評価が進んでいる。



※一般LCPの融点：320℃以上

図9 各材料の融点と加工温度の比較

文 献

- 1) 鈴木准：プラスチック，上野製薬(株)，6，53-57
(2023)。

プラスチック射出成形技術大系

発行日 2025 年 1 月 26 日 初版第 1 刷発行
監修者 本間 精一
発行者 吉田 隆
発行所 株式会社エヌ・ティー・エス
東京都千代田区北の丸公園 2-1 科学技術館 2 階
TEL 03(5224)5430 <http://www.nts-book.co.jp/>
印刷・製本 日本ハイコム株式会社

© 2025 本間精一，他

ISBN 978-4-86043-934-7

乱丁・落丁はお取り替えいたします。無断複写・転載を禁じます。

定価はケースに表示してあります。

本書の内容に関し追加・訂正情報が生じた場合は、当社ホームページにて掲載いたします。

※ホームページを閲覧する環境のない方は当社営業部（03-5224-5430）へお問い合わせ下さい。