

液晶ポリマー

上野製薬㈱ 大杉 健太

1. 概要

液晶ポリマー（LCP：Liquid Crystal Polymer）とは、熔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（難燃剤無しで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。

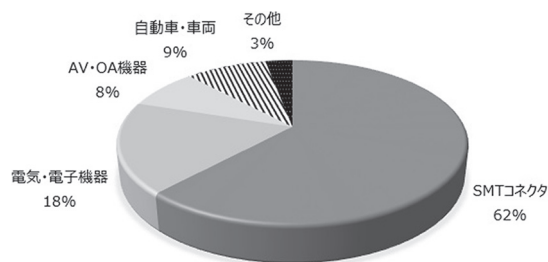
上野製薬㈱ではLCPの主原料である、ベンゼン環骨格の

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。以下では、LCPの市場動向および上野製薬のグレード開発と応用展開について紹介する。

2. LCP市場動向

LCPの用途別需要としては、表面実装（SMT）用コネクタがその半数以上を占めるとされている（第1図）。その理由として、鉛フリーのはんだ熱に耐える樹脂であるということが背景にあり、さらに、部品の軽薄短小化が必要であるため、耐熱性と流動性の良好なLCPが使用されている。需要の推移については、主要需要部品の軽薄短小化が進み、さらに再生材使用率の増加も重なり、LCP市場はほぼ横ばいが続くと思われていた⁽¹⁾。

しかしながら近年、スマートフォンや自動運転技



第1図 2018年LCP用途別世界需要⁽¹⁾

術などにおける第5世代移動通信（5G）が、次世代の移動通信技術として脚光を浴びており、5Gでは優れた誘電特性を持つLCPが採用されていくと予測されている。また、自動車の自動運転や電動化などにより、パワーエレクトロニクス部品（モータ、筐体）や各種センシングデバイス（カメラモジュール、ミリ波レーダ、レドーム）への用途拡大も見込まれている。

3. UENO LCP® 開発動向

3-1 超々高流動グレード「UM029」

LCPの主用途であるSMTコネクタは、スマートフォン／タブレット／ウェアラブルデバイスなどの部品として多く使用されており、それらはLCPでなければ達成できないほどの微細な次元に達している。しかし、さらなる微細成形性の要求も存在し、そのニーズに応えるための素材開発は必要不可欠となっている。

当社が2011年に上市した「UX101」の特徴は、ニートレジンの分子設計を調整し固化速度を遅くしたことにより、

- ① 優れた低ソリ性
- ② 高い流動性

第1表 SMTコネクタ向け高流動・低ソリグレードの一般物性

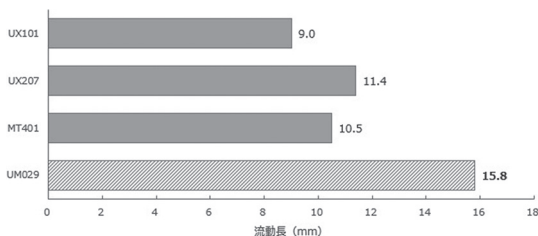
	単位	ASTM	UX101	UX207	MT401	UM029	
			高流動、低ソリ	超高流動、低ソリ	高流動、低ソリ、 高ウェルド強度	超々高流動、 低ソリ	
比重	—	D792	1.69	1.62	1.63	1.59	
引張強さ	MPa	D638	111	120	132	134	
引張伸び	%		2.8	3.0	1.7	2.7	
曲げ強さ	MPa	D790	135	140	160	154	
曲げ弾性率	GPa		8.6	9.0	11.1	9.6	
Izod衝撃値 <ノッチ付>	J/m	D256	110	170	123	180	
荷重たわみ 温度	1.8 MPa	℃	D648	254	250	260	240
	0.4 MPa			288	290	290	273
成形収縮率	MD	%	上野法	0.1	0.1	0.1	0.1
	TD			0.8	0.7	0.9	0.7

③ 耐ブリスタ性が優れる

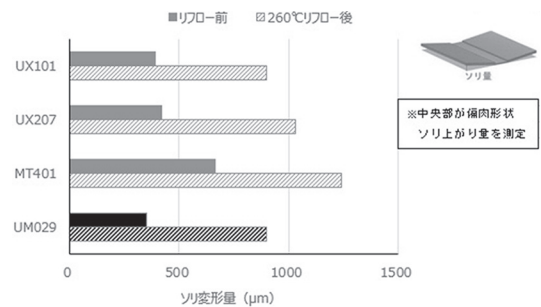
というようなコネクタとしての樹脂材料に求められる性能をバランスよく備えており、コネクタ市場において高い評価を獲得してきた。その後、市場の要求性能がより高くなることに応え、UX101の低ソリ性と耐ブリスタ性を維持しつつ流動性をより向上させた「UX207」、流動性とウェルド強度を高いレベルで両立させた「MT401」など、市場ニーズに対応したラインアップの拡充を行ってきた。

近年さらなるSMTコネクタの低背化・小型化に加え、多芯数化と長尺化が進み、それらに対応できる材料が求められており、より流動性が必要となる事案が増えてきた。そのような市場ニーズに応えるため、ニートレジンの改良と特殊コンパウンド技術の導入、さらにフィラー構成の最適化を行い、低ソリ・耐ブリスタ性などの特性を維持しつつ、従来品よりも高い流動性を実現した「UM029」を開発した。その優れた流動性から、SMTコネクタやそれ以外の微細・薄肉製品での性能満足度は高く、UM029の

上市を決定した。UM029を含むSMTコネクタ向けの高流動・低ソリグレードの一般物性を第1表に、流動性を第2図に、低ソリ性を第3図に示す。



第2図 SMTコネクタ向け高流動・低ソリグレードの流動長 (0.1 mm厚み)



第3図 SMTコネクタ向け高流動・低ソリグレードのソリ性

3-2 高剛性グレード「GT605」

近年、自動車産業ではCASE (C: Connected, A: Autonomous, S: Shared & Service, E: Electric) をキーワードに、電気自動車や自動運転車といった次世代自動車の発展が予想されており、それに伴い、ECU (Electronic Control Unit) 世界市場が約2倍 (9.5兆円/2017年⇒17.8兆円/2030年) に拡大すると見込まれている⁽²⁾。

これまでSMT不要なパワーエレクトロニクス部品 (モータ、筐体) に対しては、高強度が特徴の「5030G」「5050GM」などを展開し、多くの顧客から支持されてきた。しかし、これらはリフロー非対応のグレードであることから、さらなる需要を取り

第2表 高剛性グレードGT605の一般物性

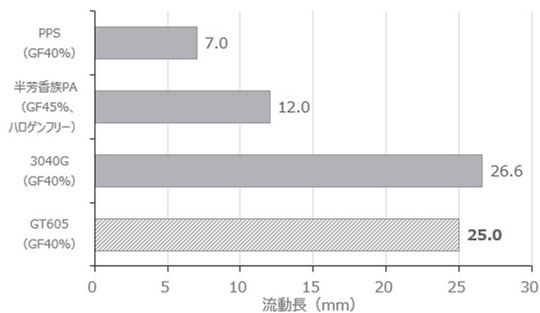
	単位	ASTM	GT605	3040G	PPS	半芳香族PA	
			高剛性	標準	—	ハロゲンフリー	
比重	—	D792	1.72	1.72	1.67	1.55	
曲げ強さ	MPa	D790 上：3.2 mmt 下：0.5 mmt	242	195	260	240	
			343	240	245	177	
曲げ弾性率	GPa	D790 上：3.2 mmt 下：0.5 mmt	19	14	15	14	
			22	18	15	12	
Izod衝撃値 <ノッチ付>	J/m	D256	57	80	80	93	
荷重たわみ 温度	1.8 MPa	°C	D648	288	272	266	278
	0.4 MPa			>295	>295	—	—
成形収縮率	MD	%	上野法	0.0	0.0	0.3	0.3
	TD			0.6	0.6	0.9	1.1

込むためには、SMT対応かつ高強度の材料開発が急務となっていた。

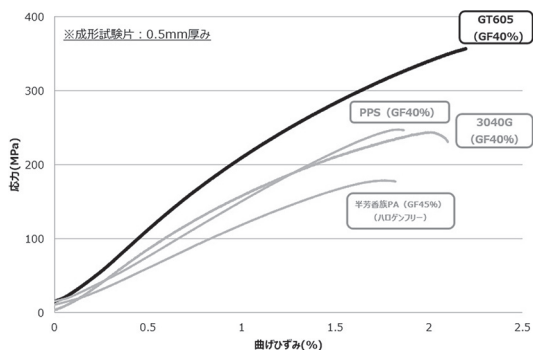
そこで当社では、モノマー構成から検討しニートレジンを開発、さらにガラス繊維の配合量を最適化することで、SMT対応かつ高剛性（高強度・高弾性率）の「GT605」を上市した。

GT605の驚くべき点は、薄肉時の強度にあり、曲げ強さが当社標準LCP（3040G）と比べて約1.4倍まで向上している。なおLCPの特性である流動性や難燃性（難燃剤無しでUL94 V-0認定）も有していることから、PPSやPAと比較し、製品の小型化や成形サイクルタイムの短縮化、金型メンテナンス期間の延長、後処理工程（バリ取り）の省略化により、トータルコストダウンを図ることが可能となっている。これらの優れた特性を活かし、車載用途への採用やPPS・PAの代替材として評価が始まっている。

薄肉時の機械物性を第2表に、曲げ応力-ひずみ曲線を第4図に、流動性を第5図に示す。



第5図 高剛性グレードGT605の流動長 (0.2 mm厚み)



第4図 高剛性グレードGT605の曲げ応力-ひずみ曲線 (0.5 mm厚み)

3-3 低誘電率グレード「UGB008」

5Gでは、高周波数帯を利用することでデータ通信の高速・大容量化が可能となり、さまざまな通信デバイスがよりいっそうの普及をみせると予想される。高速・大容量通信の実現には、通信時のデバイス自身での伝送損失の低減・伝播速度の向上が重要課題であり、それらは材料特性に依存する。また自動運転技術やロボットの遠隔制御では、通信時の低遅延・高信頼性を求められるが、同様の理由から材料の選定は重要と言える。

通信時に電波が熱エネルギーに変換されることで発生する伝送損失は式(1)で表される。伝送損失を低減するためには、材料の誘電率・誘電正接を低減することが求められる。特に高周波数領域では伝送損

第3表 低誘電率グレードUGB008 (BK色) の一般物性

	単位	ASTM	UGB008	2140GM	UX101	
			低誘電率	低ソリ (標準品)	高流動、低ソリ	
比重	—	D792	1.18	1.74	1.69	
引張強さ	MPa	D638	109	98	111	
引張伸び	%		3.5	1.5	2.8	
曲げ強さ	MPa	D790	131	142	135	
曲げ弾性率	GPa		7.1	10.8	8.6	
Izod衝撃値 <ノッチ付>	J/m	D256	30	34	110	
荷重たわみ 温度	1.8 MPa	°C	D648	239	240	254
	0.4 MPa			286	284	288
誘電率 (誘電正接)	1 GHz	—	空洞共振 器振動法	3.08 (0.002)	4.43 (0.003)	4.18 (0.003)
	10 GHz			2.97 (0.002)	4.34 (0.003)	4.09 (0.003)
	20 GHz			2.85 (0.002)	4.26 (0.003)	4.05 (0.003)

失が周波数に比例して増大するため、材料の選定はより重要となる。

$$\text{伝送損失} = k \times f \times \sqrt{\epsilon} \times \tan \delta \quad \dots(1)$$

k : 比例定数、 f : 周波数、
 ϵ : 誘電率、 $\tan \delta$: 誘電正接

また信号の伝播速度は式(2)で表され、高速通信化・低遅延化には材料の誘電率を低減することが求められる。

$$\text{伝播速度} = k \times C / \sqrt{\epsilon} \quad \dots(2)$$

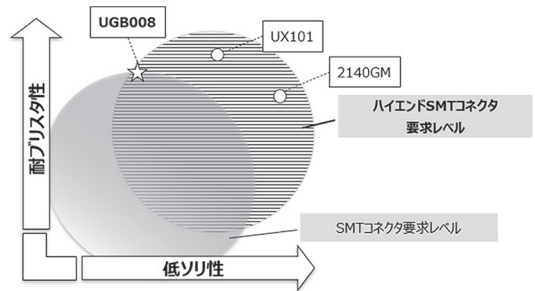
k : 比例定数、 C : 真空中の光速、 ϵ : 誘電率

以上のような背景から、当社では高周波コネクタ向けグレード「UGB008」を開発した。

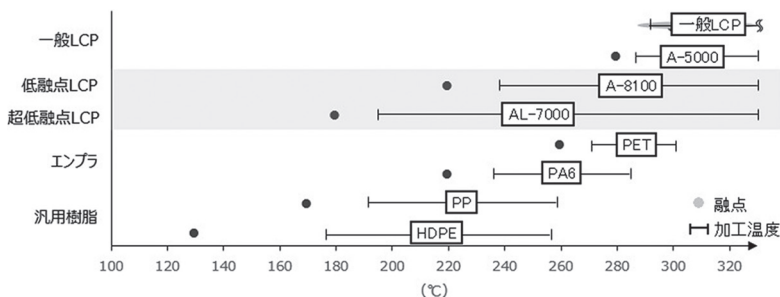
「UGB008」はコネクタ用途などでニーズの高い黒

色ながら良誘電特性を有し、LCPの重要な特長であるSMT対応・高流動を実現したグレードとなっており、そのバランスの取れた性能より、高速通信向けコネクタへの採用が進んでいる。

誘電率・誘電正接を含む一般物性を第3表に、低ソリ耐ブリスタ性を第6図に示す。



第6図 低誘電率グレードUGB008の低ソリ耐ブリスタ性



第7図 各材料における融点と加工温度の比較

3-4 他樹脂とのアロイ/UENO TECROS®

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 A-8100（融点220℃）と超低融点LCP AL-7000（融点180℃）をラインナップしている（第7図）。これらの樹脂は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。これらのLCPによりアロイ可能な温度域が広がり、今後の新しい用途展開が期待されている。また、2017年に上記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。

4. おわりに

これから本格化するIoT時代の大容量・高速通信に対し、LCPの誘電特性を活かした開発や、先進運転支援システム（ADAS）・自動運転化の本格普及によるセンサー関連への展開、他樹脂との複合化による新たな用途開発に取り組んでいく。

<参考文献>

- (1) 2019年エンブレ市場の展望のグローバル戦略、p.225、富士経済（2018年）
- (2) 2030年における車載用電子制御装置およびCASEからみた注目デバイスの世界生産額見通し、電子情報技術産業協会（2018年）

【筆者紹介】

大杉健太

上野製薬株式会社 LCP事業部 営業部