

# 液晶ポリマー「スミカスーパーLCP」 のコンネクター用途への応用

住友化学工業(株) 情報電子化学品研究所

永野 聡  
山内 宏泰  
平川 学

## The Application of Liquid Crystalline Polymer “ Sumikasuper LCP ” for Connector Usage

Sumitomo Chemical Co., Ltd.

IT-related Chemicals Research Laboratory

Satoshi NAGANO

Hiroyasu YAMAUCHI

Manabu HIRAKAWA

Liquid Crystalline Polymers (LCPs) (“ Sumikasuper LCP ” is one of them) are now used for wide varieties of electronic parts, especially SMT (Surface Mount Technology) connector for personal computers and mobile phones. However, it is sometimes difficult to apply LCPs (Sumikasuper LCP also) to the usage, because of molding problems. The most significant molding problem is warpage.

In this report, we explain the basic study to solve the problem based on our own flow pattern theory. According to experimental results based on the theory, it is found that both the compound formulation and procedure are part of the key technologies to solve warpage problem and to fit flow patterns of various actual connector designs also. Thus Sumikasuper E6000HF series have been developed as connector grades. Furthermore, the effectiveness of CAE (Computer Aided Engineering) technology is introduced as a method of estimating the flow pattern and warpage analysis.

### はじめに

常用使用温度(UL規格746で定義される耐熱老化性)が150以上の耐熱性樹脂はスーパーエンジニアリングプラスチックと呼ばれているが、液晶ポリマー(以下LCPと略す)は、その代表的な樹脂の一つである。多くの樹脂がその分子構造由来の名称で呼ばれているのに対し、市販LCPは溶融流動時にネマチック液晶性を示すという物理的性質由来の名で総称されている。メソゲン構造と呼ばれる剛直なポリマー鎖からなるポリエステル、またはポリエステルアミドである点は市販LCPに共通であるが、化学構造、耐熱性等各社さまざまである。

LCPは開発以来すでに30年の歴史を持つが、近年、電子工業分野を中心に部品の小型化が進む中で、これらの要求に応える樹脂としてここ数年で需要は激増している。2000年の需要量は全世界で17,000トン(コンパウンドベース)と推測され、3年前のほぼ倍という高い伸び率である。

本稿では、当社の液晶ポリマー「スミカスーパーLCP」の一般的な紹介と、主用途の一つであるコネ

クターにおけるグレード開発およびその考え方について紹介する。

### LCPの特徴

#### 1. LCPの一般的な特徴

LCPが小型電子部品等に用いられる一般的な理由として以下のことが挙げられる。

- ・ 剪断速度依存性が大きく、高温、高剪断下では低い溶融粘度を示す。そのため薄肉の射出成形が可能で、固化時バリが発生しにくい。
- ・ 成形品表面は剪断のため配向するので、薄肉部の強度、弾性率が向上する。
- ・ 電子部品実装法の主流である表面実装(SMT)のハンダリフロー温度240～260に耐える。

このようにLCPは小型電子部品のために生まれてきたような材料であるが、一方で配向による異方性が強い変形が起き易い、ウエルド部の強度が弱い、などの欠点も有しており、使用にあたっては金型設計、射出成形条件に細心の注意が必要となる。

2. スミカスーパーLCPの特徴

「スミカスーパーLCP」は以下の構造からなる全芳香族ポリエステルであり、荷重たわみ温度(DTUL) 260 ~ 280 と、市販LCPの中でももっとも耐熱性の高い部類(Type- と呼ばれる)に属する。



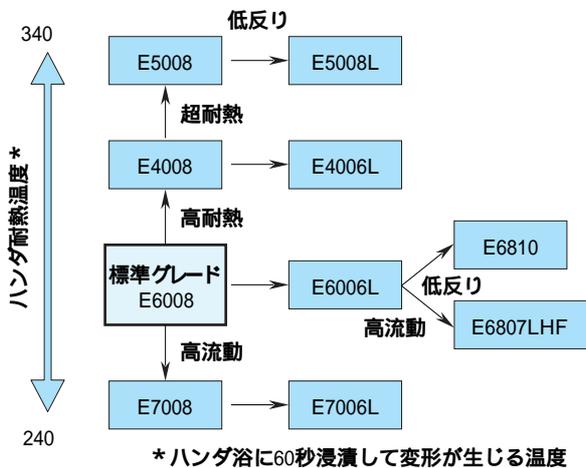
LCPの一般的な特徴が顕著に表れるもっともLCPらしい材料とすることができる。また、スミカスーパーLCPはそれ自身UL規格の難燃性の最高ランクV-0を満たしており難燃剤が不要であること、メイングレードは50%リグランド品についてもV-0を取得していること、鉛フリーハンダに対応可能な十分な耐熱性を有していること、など環境対応型材料としても特筆できる性質を有している。また、高い絶縁破壊電圧(30MV/m以上)を有する優れた絶縁材料であり、GHz帯での誘電正接が低く、高周波回路にも好適な材料である。

スミカスーパーLCPのグレード構成

スミカスーパーLCPの基本的なグレード構成を第1図に示す。

スミカスーパーLCPは耐熱レベルに応じて4種のベース樹脂からなっている。標準グレードE6000シリーズは、SMT対応のコネクター等に主として使用される。E6000より耐熱性の高いE4000、E5000シリーズは、さらに耐熱性が要求されるリレー、ポピン用途を中心に使用されている。E7000シリーズは逆に耐熱性(加工温度)を下げ、成形性を向上させたもので超薄肉コネクターの一部や封止成形電子部品等に使用される。

第1図 スミカスーパーLCPの基本グレード構成



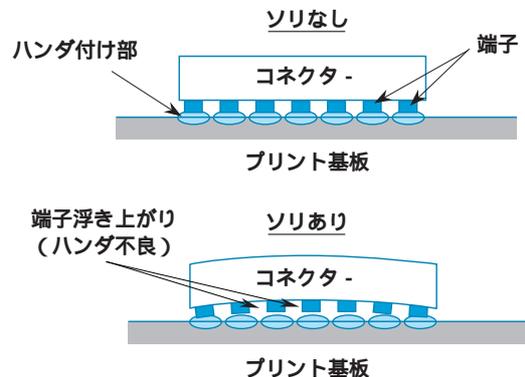
LCPの一般的な性質としてニート樹脂は異方性が強すぎて射出成形が困難であり、ガラス繊維等の無機フィラーを添加して、補強効果と同時に異方性を低減させたものが一般的に用いられる。フィラー量が多いほど、異方性が低減されるが、流動性が低下する傾向にあり、同じベース樹脂の中でも、目的に応じて選択できるようにフィラーの種類、量を変えたもの数種類が用意されている。

スミカスーパーLCPのコネクター用途への展開

前述の通りLCPは、優れた耐熱性(耐ハンダ性)、機械特性や薄肉成形性を有していることから、さまざまな電気・電子部品用途に応用されているが、とりわけパーソナルコンピューターや携帯電話などのコネクター部品として近年需要を大きく拡大してきた。全世界のLCP需要量の約5割にあたる8,000 - 9,000トンがコネクター用途に使われていると見られている。コネクター部品は、昨今の軽薄短小化に伴い、ますます多ピン化とそれに伴う薄肉化の傾向にあり、LCPの成形性の特徴を最大限に活かせる用途である。昨今では電子部品の製造工程における技術革新に伴いSMT対応が進んでおり、コネクター部品もその多くがSMT対応化している。SMT対応コネクターの材料に要求される特性としては、1)優れた薄肉成形性、2)耐ハンダ性(260 x 20sec以上)、3)低ソリ性(ソリ量: < 5/100mm)などが挙げられる。

成形した部品にソリやネジレといった変形がある場合、第2図に示すように基板面から端子が浮き上がってしまい、ハンダ付け不良が発生するため、実用面で大きな問題となる。LCPは、他のエンブラと比較するとソリやネジレが発生しにくい材料といわれているものの、実際の製品開発段階においては、寸法公差を越えるソリが発生する場合はしばしば見られ、これを解決することがコネクター用途に展開するに当たっての大きな課題となっていた。我々は第1図で挙げ

第2図 表面実装コネクターのソリとハンダ付け時の問題点



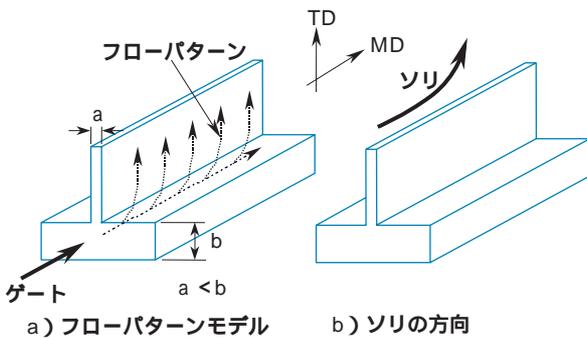
た従来のスミカスーパーグレードに加えて、さらに低ソリ性を付与するための検討を行ってきたので、以下では、その結果を中心にグレード開発の状況について述べる。

1. ソリ低減の理論的背景

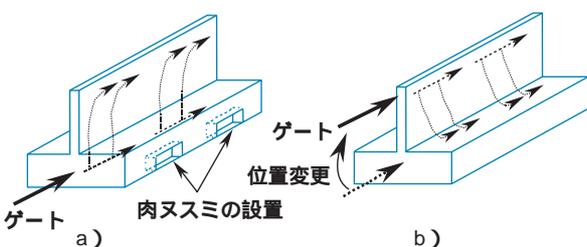
一般に、射出成形において溶融プラスチックが厚肉部と薄肉部が混在する製品形状の金型内を流動するとき、まず厚肉部に流入し、その後薄肉部に流入する。これは、薄肉部の圧力損失が厚肉部と比較して大きいためである。大半のコネクターは、製品全体の強度や機能を維持するための厚肉部と金属端子間の絶縁を保つための薄肉リブ部とが混在する形状となっている。第3図に、この一部を取り出したモデルを示す。樹脂は、第3図a)に示すように、底面の厚肉側をまず流動し、少し遅れて薄肉のリブ部を流動することになるため、図中の点線で示すような流動状態(フローパターン)となる。

LCPは異方性が強く、樹脂流動方向(MD)に比べてその直角方向(TD)の成形収縮率が大きいため、このようなフローパターンを示す場合、底面(MD)に対してリブ部(TD)の成形収縮が大きくなり、その結果、第3図b)に示す方向に製品全体が変形(ソリ)することになる。これを解決する方法としては、1)製品肉厚の均等化、2)厚肉部分の流動を阻害するための薄肉部(肉ヌスミ)の設置(第4図a)、3)薄肉部から厚肉部に樹脂が流動するようにゲート位置の変更(第4図b)、等により図中点線で示すような

第3図 LCPのフローパターンモデルとソリ方向との関係



第4図 フローパターンの変更方法

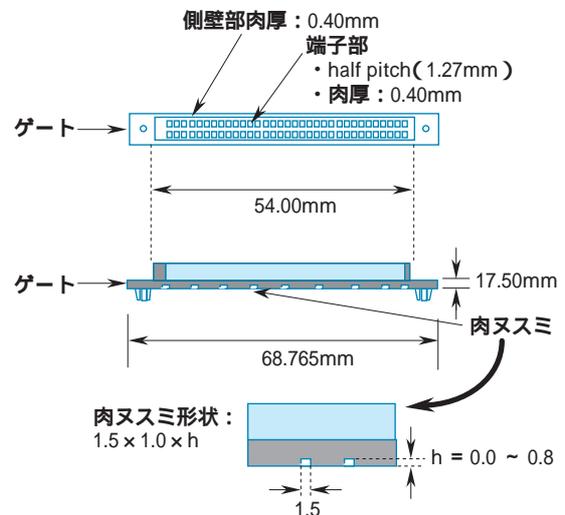


フローパターンに変更することが考えられるが、ここでは、2)の肉ヌスミを設置しフローパターンを変更することでソリが改善することを実証するための検討を紹介する。

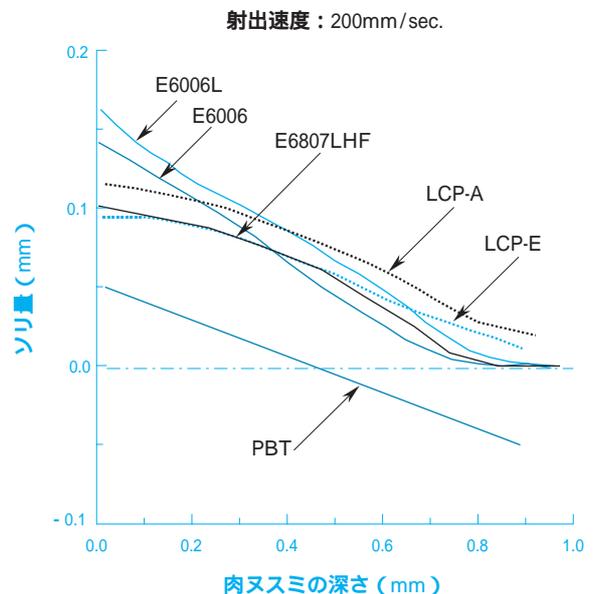
(1) 肉ヌスミの設置とソリ量との関係

我々は上述の理論を検証するため、肉ヌスミ量を変化させることができるモデル金型を作成した。第5図にモデル金型の概略図を示す。肉ヌスミの深さは、0mmから0.8mm(底面肉厚の約1/2)まで変化させることができる。この金型を種々の樹脂を用いて、成形したモデルコネクターのソリ量を測定した結果を第6図に示す。これから明らかのように、肉ヌスミの深さの増大に伴ってソリ量が低減し、0.8mmではほぼ計測限界以下までソリ量が低下することが判明した。

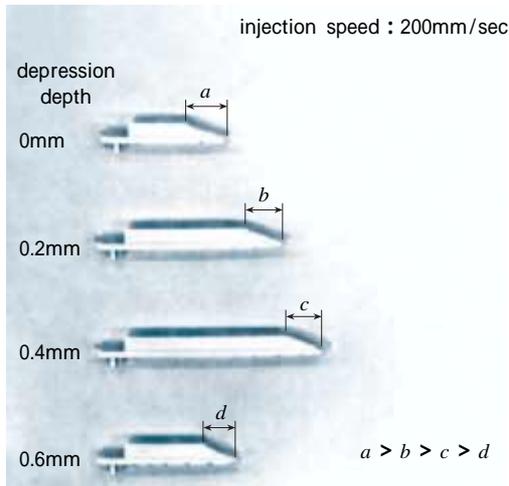
第5図 モデル金型の概要



第6図 肉ヌスミ深さとソリ量との関係



第7図 実際の成形におけるショートショット



(肉又スミ量の増大とともにフローパターンが変化)

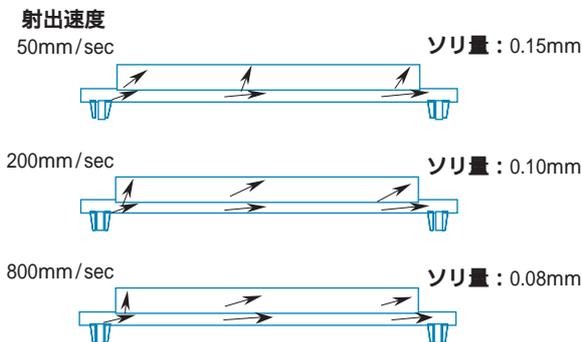
また、この時のフローパターン変化を観察するために、ショートショットサンプルを採取した(第7図)、成形途中の状態を正確に再現しているわけではないためややわかりづらいが、肉又スミ量の増大に伴い、底面肉厚部の樹脂流動と上部薄肉部の樹脂流動との差が小さくなっており、第4図a)のようにフローパターンが変化しているものと推察される。

(2) 超高速成形によるフローパターン変化

LCPは成形時の射出速度を増加するとソリ量が低減することが経験上知られている。我々はこれまでに射出立ち上がり時の応答性が速い超高速成形機がLCPの成形に適していることを報告している<sup>1,2)</sup>が、こうした成形機を用いた場合のソリに与える効果について検討を行った。

スミカスーパー E6006L を用い、(1) で用いたモデル金型で射出速度を変化させてモデルコネクターを成形し、成形品の底面肉厚部と上部薄肉部の樹脂の配向度を赤外二色法<sup>3)</sup>により求めた。配向度とその方向を矢印の大きさと向きで表し、その結果を第8図に示す。図から明らかなように、射出速度の増大に伴い上部薄肉部の配向が底面と同方向に変化し、それに伴ってソリ量も低減していることがわかる。

第8図 射出速度変化とLCPの配向との関係

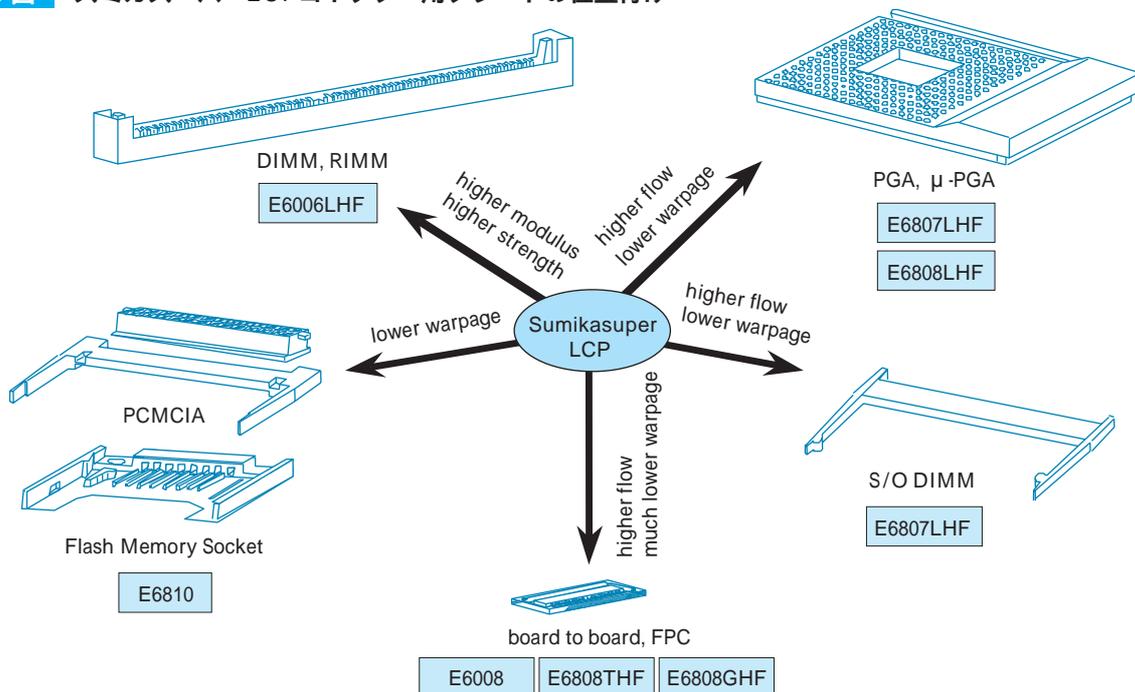


(配向度の測定結果を矢印の向きと長さで図示)

2. スミカスーパーLCPのコネクター向けグレード構成

これまでに述べたように、LCPのソリ低減のためには金型内でのフローパターンの制御が重要である。しかしながら、実際のコネクターには第9図に示すように種々の形状があり、これらすべてに同じ手法を適

第9図 スミカスーパーLCPコネクター用グレードの位置付け



用することはできない。とりわけ、昨今のコネクタは、多ピン化と低背化にともない、樹脂肉厚が0.1mm程度まで薄くなっており、従来以上の高流動性が要求されるようになってきた。また、こうした薄肉製品においては、フィラーの性状や充填量により、想定したフローパターンとならない場合があることも判明してきた。種々のフィラーやその充填量、製造方法を検討した結果、実際のコネクタ形状に合わせた最適な低ソリコンパウンド組成があることが判明した(第9図)。

これらの知見を生かし、コネクタ用途向けにスミカスーパーE6000HF(ハイフロー)グレード群をラインナップした。スミカスーパーLCPのコネクタ用

途向けグレード群の一般物性を第1表に示す。これらのラインナップにより、コネクタ形状に応じたユーザーの種々の要望に応えることが可能となり、需要が拡大している。

CAE解析技術

1. CAEの有効性とその限界

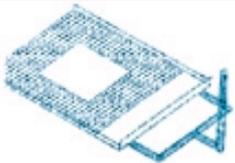
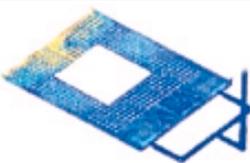
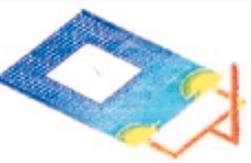
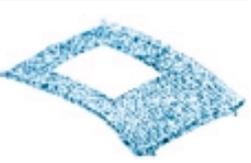
前章で述べたコネクタのソリ解析において実験的手法と同時に重要なのがCAE(Computer Aided Engineering)解析である。射出成形CAEは、第2表のとおり、金型内の樹脂流動状態から成形品のソリ・変形状態までをコンピューターで解析するツール

第1表 スミカスーパーLCPの基本グレード構成

項目	測定方法	単位	E6000 series			E6000HF(High Flow)series					
			E6006L	E6008	E6810	E6006LHF	E6807LHF	E6808THF	E6808GHF	E6808LHF	
充填材	ASTM		ガラス繊維	ガラス繊維	ガラス繊維/ 無機フィラー	ガラス繊維	ガラス繊維/ 無機フィラー	ガラス繊維/ 無機フィラー	ガラス繊維/ 無機フィラー	ガラス繊維/ 無機フィラー	
			チョップド	ミルド	ミルド	チョップド	チョップド	ミルド	ミルド	チョップド	
			30wt %	40wt %	50wt %	30wt %	35wt %	40wt %	40wt %	40wt %	
標準成形温度			350	350	350	340	340	340	340	340	
比重	D792		1.61	1.70	1.81	1.61	1.67	1.72	1.71	1.70	
吸水率	D570	%	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
成形収縮率	MD TD	住化法	%	0.19	0.18	0.22	0.11	0.11	0.20	0.15	0.17
			%	0.74	1.16	0.66	0.72	0.63	0.65	0.88	0.40
引張り 強度 伸び	D638	MPa %	164	147	126	158	134	103	138	130	
			5.0	5.2	4.3	4.4	4.5	5.3	5.7	4.5	
曲げ 強度 弾性率	D790	MPa GPa	153	143	134	146	145	114	154	140	
			11.3	12.3	13.5	11.2	12.1	11.5	12.9	12.5	
アイソット衝撃強度 ノッチなし	D256	J/m	363	412	275	382	343	311	410	270	
TDUL	D648		284	279	284	272	270	253	262	270	
はんだ耐熱温度	住化法		300	300	300	295	295	285	290	280	
難燃性 (厚み)	UL94		V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	
			0.3mmt	0.3mmt	0.3mmt	0.3mmt	0.28mmt	0.31mmt	0.31mmt	0.3mmt	
反り量 (モデルコネクタ)	住化法	mm	0.068	0.049	0.035	0.068	0.061	0.014	0.028	0.053	

E6000 series は、輸出令別1貨物に該当。  
E6000HF series は、輸出令別1貨物に非該当。

第2表 CAEの解析の流れ

	解析	モデリング	充填解析	保圧・冷却解析	反り・変形解析
CAE	結果内容	-	樹脂充填温度分布 樹脂充填圧力分布 ウエルド位置	保圧圧力分布 樹脂の固化率	反り・変形量 反り・変形方向
	結果				
実際の工程		製品設計 金型設計	射出	保圧・冷却	製品の取り出し

であり、現在では製品設計者から加工技術者まで広く使われている。CAEは、従来まで熟練者の勘と経験に依存していた金型設計技術や加工技術を理論的に解析し、樹脂の流動状態や製品のソリ・変形状態を可視化することにより、製品化までの開発コストの削減、加工製品の品質向上などをもたらした。特に、ポリエチレンやポリプロピレンなどの汎用樹脂を用いた大型成形品に関するCAEは、従来から精力的に検討されており、多くの成果を挙げている<sup>4~8)</sup>。

現在、射出成形CAEの主流は、形状は3次元であるが、流動は2次元の薄肉流れ(Hele Shaw流れ)を仮定して解いており、通常2.5次元CAEと呼ばれている。実際の製品では厚肉部やコーナー部などがあり、2.5次元モデルでは表現できない部分があるため、そのような部分では精度が悪くなることが知られている。LCPを用いた製品は薄肉品であることが多く、原理的には2.5次元CAEでも有効であると考えられるが、一般的にはLCPに関するCAEは難しいと言われている。その理由としては、LCPの流動性の温度依存性が他の高分子に比較して大きいこと、固化時間が短いことなどが挙げられ、超薄肉製品の解析においてどの程度LCPの特性を反映させることができるかが解析精度を大きく左右すると考えられる。したがって、解析精度を向上させるためには、モデリングの際にLCPの流動状態やソリ方向などを事前に想定して中立面を設定すること、およびLCPの特性を解析上に反映させるような工夫を加えることなどが必要となる。

近年、3次元CAEが登場し、2.5次元CAEでの中立面の設定などモデリングに費やす時間の大幅な軽減、前述のモデル上での問題の解消などCAE技術が着実に発展していることが窺える。ただし、3次元CAEは2.5次元CAEに比べ解析時間が大幅に増大するため、現状では機動的であるとは言えない状況にある。しかし、今後ともCAEの重要性は増すと考えられるので、解析精度の向上や解析時間の短縮など3次元CAEのさらなる進歩に期待したい。

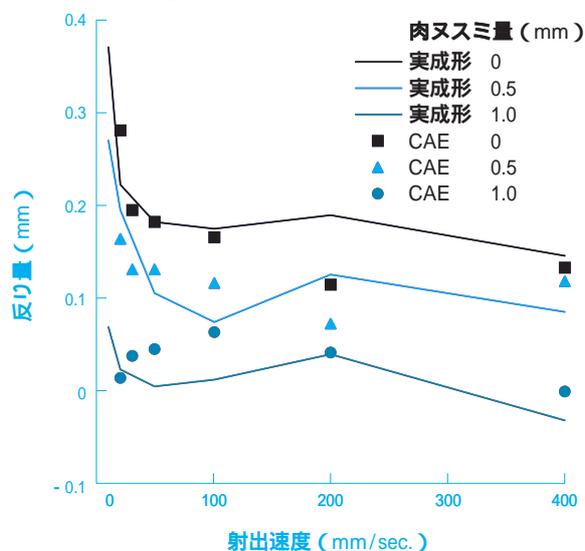
## 2. CAEの検討例

我々が行ったCAEの検討例を以下に示す。ソルバーは、MoldFlow Pty. LtdのMoldFlow Dynamic Series Rel. 1.1.を用いた。

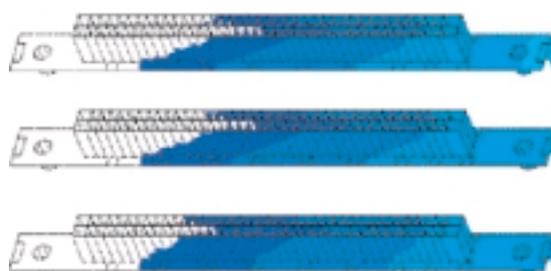
### (1) モデルコネクタ

モデルコネクタ(第5図)での肉ヌスミとソリとの関係の射出速度の依存性について検討した結果を第10図~第12図に示す。第10図は肉ヌスミとソリ量との関係を、第11図はショートショットを、第12図はソリ状態を示す。

第10図 長尺コネクタ - の肉ヌスミと反り量との関係

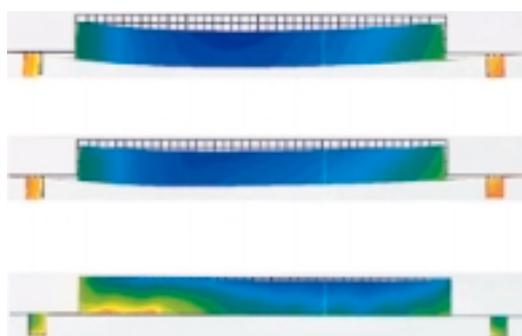


第11図 長尺コネクタ - のショ - トショット



上) 肉ヌスミ量: 0.0mm、射出速度: 30mm/sec  
 中) 肉ヌスミ量: 0.0mm、射出速度: 400mm/sec  
 下) 肉ヌスミ量: 1.0mm、射出速度: 400mm/sec

第12図 長尺コネクタのソリ



上) 肉ヌスミ量: 0.0mm、射出速度: 30mm/sec  
 中) 肉ヌスミ量: 0.0mm、射出速度: 400mm/sec  
 下) 肉ヌスミ量: 1.0mm、射出速度: 400mm/sec

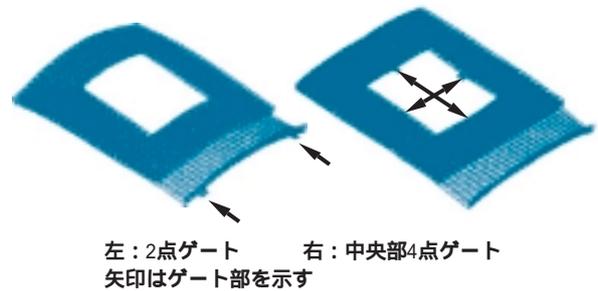
検討の結果、ソリ量の絶対値は実際の成形結果とCAE解析結果で一致しないものの、ソリ計算過程でLCPの特性を反映させるような工夫を加えることで、ソリの傾向が合うということが明らかとなり、LCPのコネクタ設計にCAEが有効であることが判明し

た。また、LCPの配向を制御することでコネクターのソリが低減できるということがCAEによっても確認された。

### (2) PGAソケット

第13図のとおり、CAE解析を行った結果、ゲート位置を変更しLCPの配向を制御することでPGAソケットのソリ量が小さくなることが予測され、実際の成形結果とソリの傾向が一致した。なお、本検討結果は、ユーザーでの最適形状決定に応用された。

第13図 PGAソケットの反り



左：2点ゲート 右：中央部4点ゲート  
矢印はゲート部を示す

### 3. CAEのまとめ

上述のとおり、多少の問題点はあるが、CAEがLCPの製品にも有効であることが明らかとなったため、積極的に顧客支援のツールとして応用していきたいと考えている。また、CAEの解析パラメータにはブラックボックス的なところがあるが、流動性のパラメータなど明確なものもあるので、こうしたパラメータと解析結果との相関、あるいは実機との相関を検討することで、解析精度の向上とさらには材料開発の一助にもなると期待している。

### おわりに

以上、LCPの主用途であるコネクターについて射出成形における設計の考え方の一例を紹介してきた。情報電子分野の技術革新に伴い、射出成形部品への精度要求は今後ますます厳しくなるものと予想される。スミカスーパーLCPはこのような要求に応えるだけの資質を持った材料と考えているが、加工条件マージンなどもそれにつれて厳しくなるものと思われ、金型

設計段階から顧客と一体となった開発がより重要になってくる。我々は今後とも顧客の期待に応えて極限の成形材料の開発に取り組んでいきたい。

最近ではOA機器や自動車分野の比較的大型成形品用途にもLCPが積極的に使われるようになってきており、コネクター等の精密製品で培われた我々の成形技術はこれらの分野にも発揮できるものと考えている。

### 引用文献

- 1) 野村 秀夫他：住友化学 1996-I 技術誌, 27(1996)
- 2) 永野 聡他：成形加工 97, 333(1997)
- 3) 野村 秀夫他：成形加工 91, 117(1991)
- 4) 東川 芳晃：高分子 40(11), 756(1991)
- 5) 東川 芳晃：日本材料学会, “ポリマープロセッシングのCAE”テキスト, 90(1992)
- 6) 東川 芳晃他：日本レオロジー学会高分子加工技術研究会第26回例会テキスト, 3(1994)
- 7) 東川 芳晃他：住友化学 1995-I 技術誌, 83(1995)
- 8) 東川 芳晃他：成形加工 01, 35(2001)

### PROFILE



永野 聡  
Satoshi NAGANO  
住友化学工業株式会社  
情報電子化学品研究所  
主任研究員



山内 宏泰  
Hiroyasu YAMAUCHI  
住友化学工業株式会社  
情報電子化学品研究所



平川 学  
Manabu HIRAKAWA  
住友化学工業株式会社  
情報電子化学品研究所  
グループマネージャー