シリコンゴム成形とプラスチック成形の違いと問題解決法

沢村立彦*・田沼陽一郎*

1. はじめに

ゴム成形と言うと昔ながらのプレス成形を連想する方が多い。しかし、最近のシリコンゴム成形(Liquid Silicone Rubber molding; LSR 成形)は、プラスチック成形と肩を並べられるほど成形方法が飛躍的な進歩を遂げている。例を挙げると哺乳瓶用乳首射出成形は、6個取り金型にて成形サイクルタイム 20 秒の高速成形を実現している。しかしながら、まだシリコンゴムの成形方法について高価な設備を有効活用できていない事例を多々見受けられる事も事実である。

本稿ではプラスチック成形との比較によりシリコンゴム成形を理論的に説明し、より効率的な成形を得るための指針を示す。さらに、プラスチック成形品またはフィルムあるいは金属との複合成形などについて最近の動向も紹介する。

2. バリ発生メカニズム

シリコンゴムを成形する際によく耳にする問題としてバリ発生が挙げられ「ゴム成形ではバリ無し成形は無理だ」と言われる事が多い。さらにバリ発生防止のため、型の面精度を 1/1000 以上必要とし、型費が高価になる、などの根拠に欠ける情報も数多く聞かれる。これらは、LSR 成形についての経験と理解が不足しているためである。以下、LSR 成形の注意点を示す。

2.1 シリコンの圧縮性による原因

シリコンはプラスチック材料と異なり、大きな圧縮性を持ち、加圧により体積が変化する。従って計量は一定の圧力下で行うことが必須条件となる。

LSR 成形システムでは A/B 成分を同じ量、圧力変動なく移送できる材料輸送ポンプ、かつ、ホッパー部にポンプ圧力を一定にするレギュレータと、計量信号によって同期するシャットオフバルブが必要である。このようなシステムによって計量時の変動要因を低減することが重要なポイントとなる。

2.2 加熱硬化特異の金型内での圧力変化

LSR 成形ではシリンドーでの材料硬化を避けるために、

図1 キャビティ内での膨張圧力

シリコンゴム材料は 20℃ 以下に冷却されている。この冷たい材料が加熱された金型に射出され、金型で加熱されるために、LSR 材料はキャビティで膨張する。この際の膨張圧力は図1に示されるように 25 MPa を超える。図1の線は、実際の成形で得たキャビティ内圧力を表したもので、左から右に成形が進み、始めのカーブは射出成形圧力を示す、その後しばらくして大きな圧力が見られる。これが熱可塑性プラスチック成形では想定外の LSR 材料特有の熱膨張現象である。

バリを発生させないためには、この膨張圧力と射出圧力を抑えるか、あるいは大きな金型締め力が必要となる。

2.3 キャビティ内圧の制御の必要性

大きな膨張力を抑えるような型締め力で金型が密閉されると、キャビティ容量が一定量以上の場合、シリコンゴム内部にシリコンゴムの引張強さを超える歪が発生し、金型が開いた瞬間にゲート部、PL 部などで裂破壊を起こしてしまう。この際に成形品が小さく、その投影面積が小さい場合には内部歪は無視でき、型締め圧力を上げることで解決できる。これらは自動車用コネクターや O-リングなどの成形で実施されている。

しかし、大部分の成形では成形品の容量が大きく、バリや裂破壊を避けるために金型内での膨張力の制御が不可欠となる。金型内圧力の制御には以下の条件が挙げられる。

- 金型温度
- 最終（実質）射出圧力
- 射出量

金型温度を下げることは膨張率を引下げ、破裂やバリ発生を改善するが、成形時間が長くなり好ましくない。

* Sawamura, Tatsuhiko/Tanuma, Yoichiro
GE 東芝シリコン(株) パシフィックエラストマー
東京都港区六本木 6-2-31 六本木ヒルズノースタワー
(〒106-8650)
2006.1.13 受理

図2 プラスチックとシリコン成形の違い

また、射出圧力を下げるとは成形を不安定にする可能性がある。これは流れが遅くなり、充填中に材料が反応を開始し粘度が上がるために流れが悪くなり、また実質射出圧力が高くなるという悪循環をもたらす、この方法も実用的とは言えない。

必然的に選択される方法として金型に射出される材料充填量を制御することであり、この充填の量によって膨張圧力を押さえ込む方法が有効である。

2.4 射出量による内圧の制御

プラスチック成形の基本は圧力制御である。これは熱により溶融されたプラスチックが金型内で冷却され体積減少（ヒケ）を生じ、射出完了後もこの体積減少を補うための保圧が不可欠なためである。

図2に表されるようにプラスチック成形とLSR成形は鏡面对称な成形であり、シリコン成形にはプラスチック成形と違う加工理論が必要である。

クッション成形は圧力制御による成形方法でありLSRでは基本的にクッション成形は適していない。

前述のとおり、LSR成形では射出の量を制御する方法がもっとも効果が高く良い結果を得られるが、具体的には下記の二つの方法が提案されている。

a) 打ち切り成形

クッション成形では過充填を引起こすことから、計量された材料をすべて金型に射出し、射出完了時にシリンドーに材料を残存させない。この成形では保圧工程が無いか、あるいは保圧工程中も金型の材料に圧力がかからないようにする。

b) 保圧省略成形

射出工程終了後直ちに計量を行う事により充填圧力を制御する。

2.5 バックフローリングの誤動作

前述のように射出工程では金型内の圧力制御のために正確な計量と射出が必要となる。しかし、通常のプラスチック成形機では、このような打ち切りによる射出制御を行わないために、成形の際に不具合を生じる。

打ち切り成形では成形機の計量精度、射出速度、射出終了時の位置なども重要な要因であるが、その中でも最も大きな障害となるのはスクリュ先端に設けられているバックフローリングである。

LSR成形では高粘度液状材料がポンプでホッパーに供給され、スクリュ後端とその先端では圧力が同一となる、むしろ計量時は後端での圧力が高い事もある。このことにより、バックフローリングは計量終了時に開いている状態

になってしまう。射出によりスクリュが前進した際にリングが閉まるまでの時間差が生じ、計量された材料が後方に流れ出す現象が起こる。このことが打ち切り成形で不安定要因として大きく影響する。

そこで我々は、内部にボール弁とスプリングを用いた逆支弁を従来のバックフローリングに替えて、計量、射出の際の材量を安定させる方法を提案している（特許出願中）。

従来のバックフローリングの外側にスプリングを入れてリングを計量終了時に強制後退させる構造が採用されているが、計量回転時の摩擦熱などにより滞留したゴムが硬化してパネの働きを鈍くする。このためにかなり強いスプリングが装着されているが、計量時における過大な抵抗となり、計量を不安定にし、かつ硬化したゴムがゲル状異物として製品部に混入するケースも指摘されている。

3. 金型温度による成形性

LSRは化学反応により硬化するため、加熱とある程度の反応時間が必要となる。プラスチック成形と比較すると温度に鈍感と言える。しかしながら、硬化に必要な温度範囲は広く130～200℃と高温である。後述するようなコールドゲートと言われる低温域が金型構造にあることから温度管理に対して配慮が必要である。

また、不可逆反応のために流れの際の摩擦熱による再溶融はなく、いったん乱流などによる気泡が発生すると解消し難く、ウエルドゲートや袋小路に集積し白濁欠損として発見され易い。

3.1 適正な金型温度

ゴム部品はアンダーカットなどで成形品の取出しで無理抜きが可能であるが、構造の複雑な成形品が多いために3枚割型などが多く見受けられる。また、キャビティ取数も多めである。このような金型構造で成形温度を130～170℃にするために工夫が必要である。

高い成形温度の設定は成形時間を短くできるばかりでなく、速い硬化により微小な隙間に入り込む薄いバリの形成も低減できることから、金型の均一な急速加熱ができるような設計が望ましい。

連続成形では冷たい材料が金型に射出され型を冷却していくために、高速な成形になるほど、より熱管理が大切となってくる。

大型の金型では加熱による反りが発生する場合があるので、断熱板側の金型に幅10mm、深さ3mm程度のスリットを垂直方向に設けて、空気循環冷却により金型の温度を均一にして、この反りを避ける。

センサーは適切な位置に設け、必ずヒーターと連動するように配慮する。特に割型やブロック部には独立したセンサーを設けて部分過熱を避ける。

3.2 収縮率と金型温度

シリコンゴムは大きな収縮率を持つ、これはシリコンゴムの基礎物性である熱膨張係数が大きな原因である。熱膨張係数は $2.3 \sim 2.4 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ であり、成形温度と室温の温度差だけで約2～3%の変化となる。

また、前述のようにシリコンゴムは圧縮性を有し、金型の中では射出圧力と膨張圧力が加わり成形品は圧縮された状態で硬化する。この際の圧力によって線収縮率が変化する。

これらの事を考慮して線収縮率を求めることが必要であるが、試作型での線収縮率を基にするのが一番精確である。

最も大事な点はゴムの性質を設計に反映しなければならない。例えばOリングでは、圧縮されて使われるものか、伸ばされて使うものかによって、その寸法精度を±のどちらを規制して設計するか決めなければならない。

例えば炊飯器等の大きなパッキングは直径30cm程度もあり、夏冬の季節変動によって外周で数mmの差が発生することも理解しておかなければいけない。

3.3 温度による流れ性への影響

前述のとおり、LSRの硬化は化学反応であり、わずかな温度差にはそれほど影響されない。流れ性は非常に優れ、金型温度170℃で射出圧力が5MPa（ノズル先端での実質射出圧力として）の条件の時、直径3mmの半断面のランナー形状で1m以上の流れ性を有する。

また、硬化に時間を要するため、1/1000mmの隙間でも流れを止めることはできない。これらのことから基本的にLSR成形ではキャビティ内にエジェクターピンは設けないことが安全である。ピンが傾き隙間に液状シリコンゴムが流れ込み易く硬化し、摺動部に詰まりピンの動きを妨げ、破損が起きる。

3.4 空気の巻き込みとスコーチ

一度硬化するとその中に巻き込んだ気泡は系外に出ないために、流れについては注意が必要である。流れは層流による充填と金型内の空気の速やかな排出が必要である。エアーベントについてはシリコンゴムの流れを止めて、かつ空気を逃すような機構が必要であり、エアーベントの詰まりを起こさない工夫については金型の項で述べる。これらのエアーベントを配置しても、LSR材料が空気を巻き込み、硬化した層が形成されると硬化したゴムに形成された気泡は排除できずに、ウエルドポイントで白濁欠損を形成してしまう。

4. 金 型

基本的にはLSRの金型は通常のプラスチック金型の技術水準で充分に対応できる。以下の点について考慮していただきたい。

4.1 オープンゲート

金型を均一に加熱してスプルー、ランナー、成形品を硬化する。金型と成形機のノズルとの接合部はノズルが冷却されていることから、温度が低くなりがちであり、この部分での温度低下には注意が必要である。

スプルーは比較的勾配の少ない形状でも脱型できる。しかし、スプルーの引き抜きにはプラスチックより大きなアンダーカット（コールドスラグ）が必要であり、スプルーの根本の（コールドスラグ）は図3に示すように外側に出張る形状にして引抜きをさせなければならない。

ランナー形状については流れ性が優れているために、直径3mmの半円形上のランナーが流れ性、取出し性に適している。もっと細いランナーでも問題ないが取出し時の作業性を考慮する必要がある。ランナー部にはエジェクターを設けない。

4.2 コールドゲート

キャビティ直前まで材料を加熱しないように冷却された

図3 コールドスラグ

図4 コールドゲート

マニホールドとノズルを有し、断熱板で加熱部と隔てた構造をもち、冷却されたノズル内部のシャットオフピンでゲートを開閉することにより、キャビティに直接LSR材料を射出する。この方式の開発により、スプルー、ランナーが無くなり、自動取出し、高速成形が可能になった。シャットオフ機構には油圧、空圧、バネ式が実用化されているが、キャビティ内の膨張圧力によっては空圧やバネ式では抑えきれない場合があり、このような事例ではより細かな射出量の制御が求められる。金型によってはこのシャットオフ機構を成形機側のノズル開閉システムを利用している。

コア型に冷却部を持つために可動型との合わせにずれが起きやすく、ガイドピンを破損し易いことから、テーパーブロックを用いる。

4.3 ゲート設計

ゲート径をできるだけ小さくすることにより、キャビ

ティでの乱流を防止し、気泡の発生を抑えることができる。

ゲート径は0.5 mm 以下、あるいは厚み0.1~0.15 mm で幅5~20 mm のフィルムゲートが適している。フィルムゲートは成形品の容量が多いときに、充填時の抵抗を下げ効果が大きい。

トンネルゲートも LSR 成形では良く用いられる、型開き時に容易にゲート切断ができ、ゲート痕跡をきれいに処理できる。

4.4 ガイドピン、通しピン

LSR 金型は高温に加熱され、型材の膨張の差異によって位置決めや可動部の摺動に問題が起きる。適切なヒーター、センサー配置で金型の均一な加熱が必要である。ガイドピンは用いずにテーパーブロックを用い、かつ冷却部と加熱部の通しピンはその本数を少なくしなければならない。

4.5 離型性

LSR は離型性に優れているが、防錆剤を使用できないこと（白金触媒を被毒するため）から錆に強い鋼材が好ましい。

新造の金型では家庭用台所洗剤を1%に希釈したものを加熱した金型表面に吹き付けて離型層を形成するとその後の離型性が良好である。成形ではフッ素系の離型剤が一般的に使用されている。

4.6 エジェクターピン

エジェクターピンは成形品には設けず、取出しにはエアージェクターを用いてゴム成形品の真空を解除し吹き飛ばす方法が有効である。また、細かい部品の場合には図5のような取出し機を用いる、この取出し機は刻み目のあるアルミローラーを高速で回転させながら、金型表面の直上を上下させてゴムを効率よく弾きとばす。

4.7 ヒーター/センサー

金型の加熱には電気式カートリッジヒーターが使われる。海外では金型の中の構造に自由度を持たせるためにリングヒーターを用いることがあるが、この加熱方式は内部が過加熱され易いことが懸念され、一般的には棒状ヒーターを使用している。ヒーター容量は金型の大きさによって異なるが、一般的には500 ワット前後のヒーターを複数本使用する。センサーはヒーターと対で用い、均一な加熱を行う。

4.8 エアーベント

LSR 成形では空気の逃がし方が大変難しい、これは LSR が流れ易いことから、エアーベントが詰まってしまうためである。このために図6に示すような、材料の詰まり難いエアーベントが必要である。

また、どうしても袋小路のようになる個所では、簡単に掃除ができるように入れ子にして取り外し可能にしておくことを薦める。

4.9 喰い切り溝

ゴム分野の特殊用語であるが、ゴムの成形ではバリを取って造り、後仕上げ工程を楽にする方法があり、これを図7に示す。バリ溝を設け、ランドをシャープにして成形後にこのラインでバリを切り離す。

この方式はインサート成形のようにバリの発生が防ぎきれない成形では有効であり、エアーベントの機能もあり、気泡の発生を解決するのに有効である。

図5 取出し機例

図6 エアーベント形状

図7 喰い切り溝形状

4.10 断熱

冷却部と加熱部の断熱は高性能の断熱材を用いる、これによって加熱部を高く設定でき、成形サイクルの改善により成形コストを抑えられる。コールドゲート型ではコールド部と加熱部を断熱板から、成形機に取り付けたままで分離できる方式が使われている。これは金型が冷却する間のマニホールド内の硬化を避けるために望ましい。

4.11 メンテナンス

LSR は白金触媒による反応のために、白金を阻害する物質の存在により、硬化に問題が生じる。この阻害物質は硫黄、アミン、重金属を含む化合物であり、防錆剤、グリースなどの大多数である。特に新造の金型を使用するときには、LSR 材料が触れる部所は溶剤等で清浄にしなければならない。潤滑用グリースは白金を被毒する硫黄、アミン、重金属、鉱物油が配合されていないものを使用すること。

5. 成形機/ポンプ

プラスチック成形機を改良できるかと質問されるが、LSR 用として専門機が市販されており、専門機が改造機に比べ格段に性能が優れている。

前述のように LSR 成形では精度の高い計量と、位置制御による射出精度が求められる。このために精密射出には電動制御が優れており、実際の成形からも実証されている。私どもでは電動成形機に新形状のボール弁型逆止弁をスクリュ先端に装備し、従来の油圧成形機では困難であった各種の成形を精度の高い射出量の制御により成形条件の確立を容易にしている。

材料ポンプは2成分系 LSR の A、B 成分を一定圧力で等量を成形機に移送しなければならず LSR システムの重要な要素である。

5.1 成形機的方式

a) インラインスクリュ方式

最も一般的なシステムでプラスチック成形機と同様の機構である。混合、計量安定性に優れるがバックフローリングの動作には注意が必要である。

b) プランジャ方式

スタティックミキサーとプランジャを用いたシステムで価格が安く、大容量から小さい成形品までプランジャの径によって対応できる。プランジャの計量/射出の切換え装置の信頼性が重要である。

c) プリプラ方式

プランジャ型の一つであるが、計量をスクリュで行うことで計量混合性能に優れる。また、計量後のプランジャへの切換えには機械的な開閉により信頼性の高い射出精度がある。極低粘度 LSR 材料については本方式が優れた成形性を持つ。

5.2 ポンプ的方式

a) 同期式ダブルアクション方式

油圧と空圧の方式があり、A/B 成分用のポンプを同期連結して押下、引上げの両方で材料を連続して送り、ホース内の圧力を設定された圧力に保つ。このために A/B 成分の送り量に差が少なく、優れた計量性能には定評がある。

b) シングルアクション方式

一般的な高粘度ポンプであり、材料は押下げるあるいは引上げるいずれか片方だけで送られる。このためにホース内で圧力を保持できない。また、二つのポンプは同期していないために、送り時点で A、B 成分に時差を生じ、混合比の信頼性は低い。

c) シングルアクション内圧保持方式

シングルアクションで内圧を保持できるように、ホースに逆流防止弁を設け、かつ A、B ポンプを同期させた方式。ダブルアクションに次ぐ性能。

d) シングルアクション計量ポンプ付属方式

シングルアクションでの計量、等量移送の安定性を補うために、ポンプと成形機の間計量シリンダーを付属した方式。計量シリンダーは A、B 成分用に各 1 本あり、ポンプからシリンダーに個別に材料が充填され、成形機の計量信号により計量ポンプを駆動して A、B 成分を同時に等量移送する。しかし、計量シリンダーの内部充填圧力が異なる

ことが多く、LSR の圧力による容量差で等量計量ができずに、A、B 成分の使用量に差が生じ易い。

6. 金型構造による成形方法の違い

6.1 オープンゲート金型

スプルー、ランナーを硬化させて成形する方法でもっとも簡便な方法である。金型全体を均一に加熱するために設計し易く、メンテナンスも容易い。

しかし、LSR 材料が加熱されたスプルー、ランナーを通過するためにキャビティに到達するまでに材料の硬化が進み、キャビティでの圧力制御が難しく、バリの発生を止めることは困難である。

投影面積の大きな成形品、例えばコンピュータ用キーパッドあるいは、プラスチック成形品や金属部品との複合成形にはこの方式を用いる。

この成形では打ち切り成形を用い、LSR 材料が乱流を生じないような低速度で射出を行う。金型温度は高温では部分硬化（スコーチ）を生じ易いので 120～160℃ 程度に設定する。

6.2 コールドゲート金型（シャットオフピン型）

この方式ではゲートで射出圧力を直接に制御できることから、バリの無い成形ができ、かつスプルー、ランナーの取出しの必要が無いために、自動取出しでの全自動運転ができる。

金型温度を高く設定できるために硬化時間を短縮でき効率的な成形ができる。

6.3 シャットオフピン無しコールドゲート金型

冷却マニホールド、極小の多点ゲートを有する。シャットオフピンを持たないために、ゲートの配置、数に制限が無く、多数個取りの成形に向いている。

射出後はゲート経路の材料を高熱部からの伝導熱で硬化させることによって冷却されたマニホールドに形成された極小ゲートを閉じる。次の射出圧力によって経路内の硬化したゴムを押し出して射出、成形する。

ゲート経路の硬化したゴムを押し出すために高い射出圧力が必要である。また、成形品の容量が大きいと材料の膨張により、キャビティから材料がゲート部に押し戻され、マニホールド部に進入し硬化することによりゲートが機能しなくなる。このためにこの方式では小さな成形品にのみ有効である。

7. 最新の LSR 成形

7.1 複合成形

LSR 材料はエンジニアリングプラスチックが耐えられる 130～150℃ で硬化するために、プラスチックと LSR の複合成形が研究、実用化されてきている。

この成形ではプラスチック成形品だけでなく、フィルム形状も可能であり、これからの用途拡大が期待される。

金属との複合成形も、金属に柔らかい感触を与え、金属と金属のシールや緩衝材、モジュール開発での部品点数削減方法として注目されている。

7.1.1 インサート成形

シリコンゴムは引裂き性が乏しいため、筐体などには用いられず、限定された用途にのみ使用されてきた。しか

図8 複合成形によるおしゃぶり

し、LSR がプラスチックと同時成形ができることにより、シリコンゴムの裂けやすい等の物性上の欠点が解消され、多くのアイデアが実用化されつつある。

7.1.2 フィルムインサート

フィルムとシリコンゴムの成形は LSR の優れた流れ性を利用した成形で薄いフィルム上にゴムを成形することによって部品点数の削減とモジュール化に成功している。

7.1.3 2色成形

ひとつの金型においてプラスチックとシリコンゴムを同時成形（2色）することは成形における合理化という点で魅力のある成形である。

しかしながら、LSR の熱硬化材料と熱可塑性プラスチックの同時成形には熱管理の問題が大きく存在する。これはシリコンゴムには高い温度がプラスチックには低い温度が成形サイクルの改善には必要であるが、それぞれの上下限である 130℃ という温度を成形に用いることから、成形サイクルが長く、かつ 2 色成形のためにキャビティの取数が制限され、限られた用途でのみ有効である。現状では機能性が求められる、自動車用途に、この成形が検討されている。

7.2 レンズ成形

マイクロエレクトロニクス的发展により、より小型、集積化が研究されてきているが、この流れの中で基盤 (Print Circuit Board) に用いる LED 用レンズにシリコンが検討されてきている (図 9)。まだ、開発初期段階にあり要求される仕様などについては不明な点が多く試行錯誤中の新しい用途である。このレンズ用材料は研究され始めたばかりであるが、透明材料の観点から極低粘度材料が主流になると思われ、この極低粘度の材料に対するシステムの開発が進められている。

7.3 接着技術

複合成形が発展するにつれてシリコンゴムと金属、プラスチックとの接着が求められている。この接着にはプライマーを用い被着体の表面処理を行い、成形と同時に接着させる方法と自己接着性 LSR 材料を成形に用いる方法の二つがある。

7.3.1 プライマー

被着体の表面処理を行う方法で、プライマーと呼ばれる溶剤を主体にした溶液により被着体を処理する。塗布はドブ塗り、スプレー、ハケ、いずれも簡単に処理できる。プライマー処理は簡便で、成形条件の変更なしに十分な接着性を確保でき、量産性に優れた方法である。

図9 シリコンレンズ

図10 高速射出での哺乳瓶乳首

7.3.2 自己接着型 LSR

接着型 LSR を成形に用いるが、被着体により LSR を十分に検討、選択する必要がある。被着体によっては同一の材料、たとえばポリブチレンテレフタレート (PBT) であっても材料メーカーのグレードによっては、接着が発現しないものがあるので注意が必要である。

また、接着発現のために成形サイクルはより高温の条件でかつ成形が長くなる傾向があるために、事前に十分なフィージビリティスタディが不可欠である。

7.4 高速射出成形

LSR の成形が普及するにつれて成形サイクルの短縮の要求が強くなり、シリコンメーカーでは高速硬化タイプの LSR を開発してきた。しかし、硬化速度が速すぎて、部分硬化 (スコーチ) の問題から期待した成形サイクルの短縮ができないことが分かった。

我々は、高流動タイプの LSR を上市して成形サイクルの 10~20% もの短縮に成功してきている。図 11 に示すように第一世代 (LSR 20 XX シリーズ)、高速硬化タイプの第二世代 (LSR 26 XX) と進化し、第三世代として (LSR 26 XXTH) を発表した。ここで第三世代は硬化速度については第二世代と同じであるが、高流動のために射出時間の大幅な短縮ができ、これによって部分硬化 (スコーチ) することなく、成形温度を 5 から 10℃ も高くすることができる。この高い成形温度は成形時間の大幅な短縮を実現

図 11 高流動 LSR による成形時間の短縮

した。

また，高流動 LSR はポンプ移送を容易にし，1 台のポンプで 2 台の成形機に供給でき，設備投資の点からも有利である。これは高流動により，ポンプからの移送，計量時間が短縮できることによって従来ネックになっていた成形機同士の計量が重複する頻度を下げて，安定した成形を可能にした。

7.5 高電圧部品

高電圧碍子やそのアクセサリへの開発は急成長を続けており，新しく開発される碍子の数十%を占めるまでになっている。

海外では使用実績とともに成形技術の研究開発が材料メーカー，成形システムメーカー，電力会社との間で様々な情報を共有することによって，技術開発のスピードを加速している。

成形は注型が主流であるが，大型の成形機による低压で

図 12 大型の高圧部品として実用化

の射出成形も行われてきている。

高電圧部品成形は他の LSR 成形と比べ以下のような特殊な点が多い。

- a) 大型の成形品（100～30000 g）であり，充填中の硬化を避けるために 110～120℃ という LSR では低温の成形で硬化時間を長くした成形を行う。
- b) アルミ，エポキシ，セラミック，シリコンゴム硬化物，導電ゴムなどとの接着技術
- c) 大型製品のためにシリコンゴムの膨張，収縮に対した設計

特に接着に関して，プライマーの選択と硬化条件，被着体の管理，成形時の接着に要する熱管理などについてのノウハウが鍵であり，研究開発がなされている。

鋼の曲げ

外注金型メーカーに依頼した金型が完成し，ファーストライを行った時である。受板がたわみ，バリ発生が起こった。対策として，サポートビラを設けセカンドトライとなった。そのとき，外注金型メーカーの金型設計者が「受板も焼きを入れたので，さらにたわみは少なくなる」と得意げに話し掛けて来た。

鋼は焼きを入れてもヤング率はほとんど変わらず，どちらかと微小の判断をすれば，焼きを入れたほうがよくたわむ。この事を伝えと，素人を見る目で睨み返され

た思い出がある。

社に帰り，関係者に問うてみると誰も知らない事実に驚いた。感覚的に，特にベテラン設計者は鋼に焼きを入れると，たわみ難くなると思い込んでいる。その是正として，ある大きな鋼材メーカーの技術士にその勉強会を開いてもらい皆の誤った知識を是正した。

ある同僚はそれでも信じられず，自分で曲げ試験を行い，結果を恐縮な顔で小生に報告に来てくれた。