

新理論可塑化システム

住友重機械工業株式会社
プラスチック機械事業部 技術部
技師 丸本 洋嗣

1. はじめに

IPF2008が11月7～11日幕張メッセで開催された。直前には、大手電機メーカーの提携というニュースがあり、プラスチック関係者に少なからず影響があったと思われる。また、サブプライム問題から派生した株価の乱高下、企業業績発表の下方修正などを反映してか、成形機業界は2002(平成14)年以来続いていた好況感が一転して来年は史上最低も覚悟が必要な状態にある。しかしながら、展示会は前回は上回る規模となり、各社新技術が発表された。その中で当社は、従来の理論と全く異なる融解理論によるスクリュアッシーを発表した。ブースに設営された講演コーナーでは毎時説明会を開催し、この時間帯は通路まで黒山の人だかりができるほど盛況で、来場者の可塑化に対する関心の高さがうかがえた。



写真1 IPF2008当社ブースのSL説明会

本稿では、この新融解理論スクリュ、スパイラルロジック(以下、SL)について紹介する。

2. スクリュアッシーのデザイン

IPF2008には当社を始め、日本製成形機各社、そして台湾系、中国系、欧州などから機械が出展され

た。更に押出機もあった。スクリュ単体のメーカーも出展している。しかしながら、そのスクリュはすべて同じデザインである。日本製であれ台湾製であれ、射出機であれ押出機であれ、スクリュそのものは、図1のようなデザインである。



図1 伝統的スクリュデザイン(計量部/圧縮部/供給部)

この構造は、1950年代にドイツで研究されたもので既に半世紀も経っているにもかかわらず、基本的な3ゾーンからなる設計に何ら変化は起きていない。

射出成形機の駆動源は、油圧から電動サーボに代わり、操作性、繰り返し安定性、省エネなど大きな変化があったにもかかわらず、射出成形の源流である「融解」にかかわるスクリュデザインはほとんど進化していないのである。

現代の成形現場を見てみよう。成形機は電動サーボにより、正確に動作しているはずである。しかし、汎用プラスチックの時代の技術でLCP、耐熱ナイロン、エラストマなど様々なエンブラを溶かすのだから色々な問題が起きるのも当然である。成形現場で起きるこれらの問題を解決するため、当社はIPF2008で新機種SE-DUZのコンセプトであるZEROモールドディングと共に、SLを発表した。

3. 剪断発熱の功罪

バレル内部のペレット、メルトの挙動については複雑で掴みどころがないと言われてきた。このため、半世紀も前に開発されたスクリュデザインが今でも使われている。最近では、スクリュプリプラプラン

ジャ式や付帯機器としてのペレットフィーダなどが上市されているが、それも可塑化スクリュは圧縮部のある設計である。バレル内部の挙動については、東京大学生産技術研究所等が可視化バレルで研究をしている。しかしながら、生産現場の問題点を解析するまでには至らず、結局、成形機メーカ各社は同じものを作り続けている。

当社は、今回のスクリュ開発に当たりSpiral Logic社（香港）（以下、SL社）と技術提携をして進めてきた。



写真2 SL社研究棟

SL社は2002(平成14)年から成形現場の問題解決を目的とした可塑化装置の開発を開始した。可視化バレルにサファイア単結晶を採用することにより、石英ガラスでは見えなかったバレル内温度の測定に成功した。



写真3 サファイアバレル

更に、圧力センサによるバレル内圧力の測定結果の解析で、エンブラ成形の問題に対して根本の原因が剪断発熱であると結論し、剪断発熱を引き起こしているのがスクリュデザインに起因していることを

発見した。以下に、成形現場で遭遇する課題とその原因、課題に対するSLの効果をSL社の行った研究結果から紹介する。

4. 原因追及 突然のショートショット

LCP、ナイロンなど低粘度樹脂で頻繁に遭遇する不良現象である。原因が不明、再現性がないのでは対策の立てようがない。ひとたび、不良品が社外に流出してしまうと成形技術者泣かせの不良現象である。図2は、サファイアバレルで樹脂の溶融状態を観察した画像を時系列的に下から上に積み上げた疑似展開画像で、上段が高速ビデオカメラ、下段が赤外線カメラで撮影した画像である。樹脂は右から供給され左へ送られている。右にペレットの固まりが確認できる。透明な部分は溶融した樹脂で満たされている。図3は、バレル内の圧力を測定し、計量中のデータをプロットしたものである。

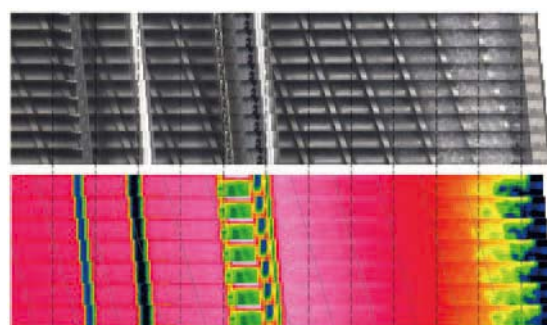


図2 剪断発熱 サファイアバレル画像

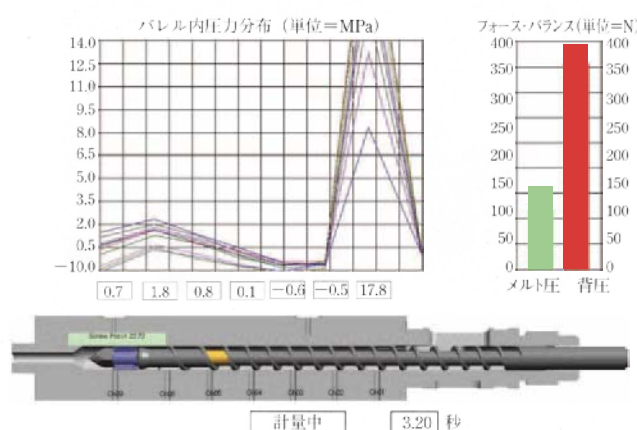


図3 剪断発熱 バレル内圧力分布

図2の高速度ビデオの画像をみると低粘度樹脂の場合、ホッパから入ったペレットはすぐに溶けてしまっているのが分かる。粘度の低いメルトは圧縮部

を起点とした渋滞が後方に伸びてしまっている。このため、ホッパから入ってきたペレットとメルトがぶつかる付近、つまりホッパ口から比較的近い部分で大きな内部圧力が立っていることが図3から分かる。この位置では樹脂に十分な熱が与えられていないため、ペレットに強い摩擦が加わってしまっている。更に、図2の赤外線写真を見ると、剪断発熱では中央部付近が白くなっている。これは過剰発熱の放熱である。ヒータが200℃でありながら発熱部の測定温度は206℃を示している。これでは、粘性の不安定につながる。

動きの取れないペレットは、バレルの壁面と一体化してナット状態となる。この状態ではスクリュはペレットを前に押し出すことなく、スクリュがネジ回しで抜かれるように後退してしまう。これがインライン式スクリュの致命的な課題「ネジ抜き」である。図3の圧力分布グラフの左端をご覧ください。この部分がメルトの圧力だが、このようにネジ抜きが発生する状態では大きなバラツキがある。実際の量産の現場では、3点セットの閉まり挙動の遅れから樹脂がスクリュ先端に向かって流れ込むので、連続成形はできている。しかし、何かの要因でそれが狂うと、突然のショートショットになると思われる。

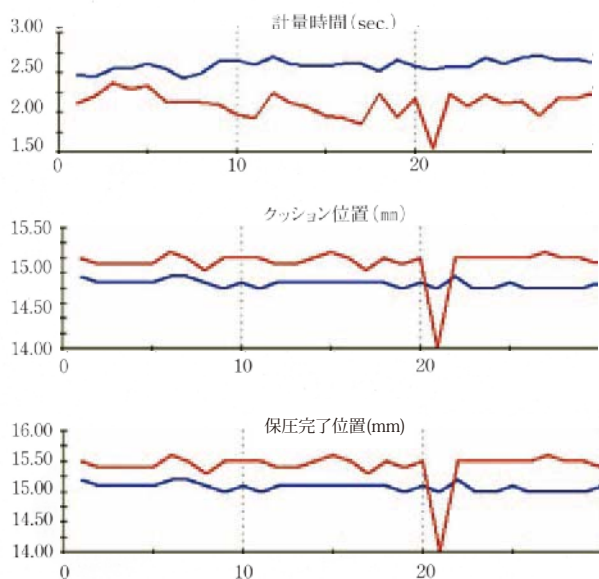


図4 突然のショートショットのグラフ

SLはメルトの渋滞の起点となる圧縮部のないスクリュである。そのため、剪断発熱はしない。図5に示すように、過剰発熱をせずにスムーズに溶けている様子が分かる。また、図6の圧力分布グラフからもバレル内の圧力が安定していることが確認できる。



写真4 従来スクリュとSL
(上/剪断発熱融解モデル：圧縮あり、下/SL融解モデル：圧縮なし)

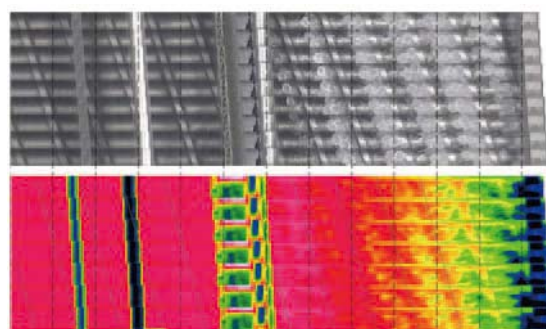


図5 サファイアバレル画像 (SL)

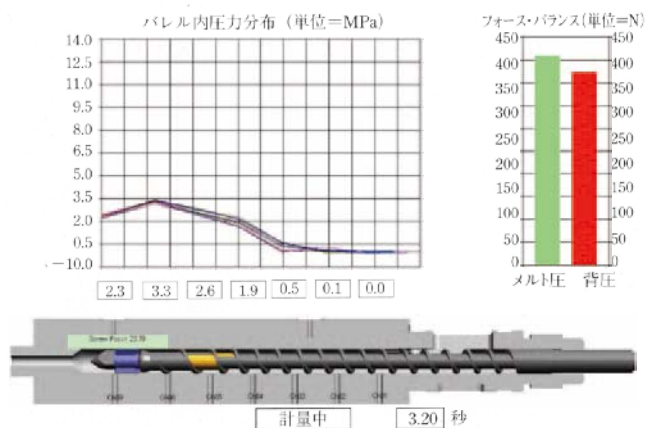


図6 バレル内圧力分布 (SL)

左端を見るとメルト圧の10ショットの重ね書きが1本になっている。このメルトの安定があれば、繰り返し安定性の高い電動成形機であれば成形品のバラツキは発生しないはずである。昨今は、このメルト圧を制御機能により改善しようというソフトウェア対応が各社から発表されているが、SLはハードウェアの更新により問題そのものが発生しない機械

を提供するものである。メルト圧安定、転写性能ではスクリュブリプラランジャ式並みの新しいインラインスクリュ式とも言えるかもしれない。更には全く新しい第3の可塑化システムの誕生とも言えるかもしれない。

5. 成形事例によるSLの効果

図7は、PCのギアを剪断発熱する従来のスクリュと剪断発熱しないSLで成形して、60ショットの結果を比較したものである。

上段は、成形機のロードセル圧力波形とスクリュ位置の重ね書きを、下段は、製品重量の変化とミニマムクッション位置の変化を示している。

30ショット目をご覧いただきたい。剪断発熱では製品重量が大きく落ちている。この時の圧力波形は破線の波形で、射出開始から圧力の上昇まで時間がかかっていることが分かる。これがネジ抜き、つまりメルト圧力が減少している状態である。そのため、保圧でスクリュ位置が大きく前進するが、それでも製品はショートショットとなっている（中央部の製品の写真、キャビ番号2の左側の黒い部分がショートショットである）。

一方で、右側のSLは圧力波形が60ショットほぼ1本に重なっている。下の製品重量の変化でもそれが確認できる。

6. スパイラルロジックの将来

表1は、第5章の成形事例において60ショットの成形品重量バラツキを比較したものである。

表1 成形事例 重量バラツキ比較

Model	SL	従来スクリュ
平均	1.2552	1.2562
Σ	0.000215	0.002421
6 Σ /平均	0.10%	1.16%

ここでもう一度強調したいのは、SLは「改善提案」ではないということである。表1の比較を見ても、バラツキが一桁違う。これはSLという、全く違う融解理論によるハードウェアの変更によって実現された「パラダイムシフト」である。SLが成形のデフォルトになり、将来は突然のショートショットという不良現象がなくなっていることを期待したい。

また、図7の60ショット重ね書きグラフに注目いただきたい。左側の剪断発熱モデルでは、巾が広すぎてこのグラフを活用しにくい。右側のSLモデルでは、重ね書きがほぼ1本の線になっている。この安定は、前述のメルトの安定そのものである。このグラフなら、全ショットの充填工程中の作業内容を保証するものになる。成形品のトレーサビリティとしてこの波形が保存されるようになるかもしれない。今後はこのソフトの開発にも注力していきたいと考えている。

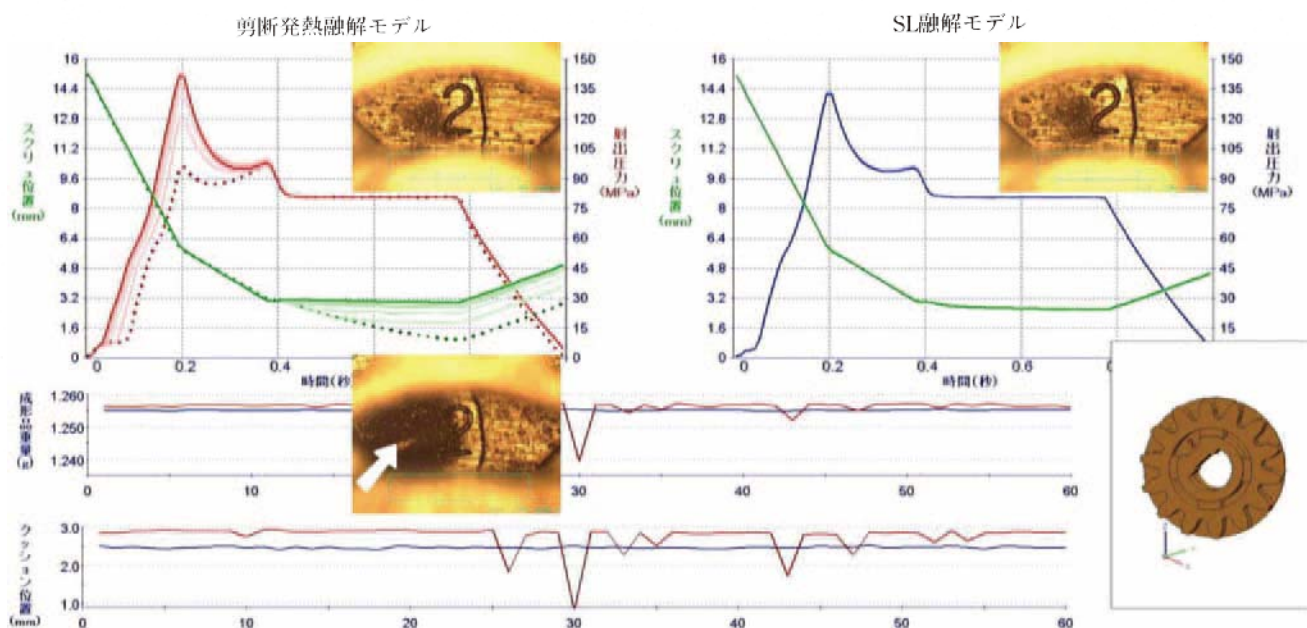


図7 成形事例 剪断とSL比較