SPIRAL LOGIC
基礎理論·操作設定教本

SPIRAL LOGIC
基礎理論·操作設定教本

T-Rex Unit
新理論可塑化システム

SPIRALLOGIC
TECHNOLOGY & EVOLUTION

T-Rex Unit
新理論可塑化システム

www.spirallogic.com.hk

SPIRAL LOGIC LIMITED

Room G6, Ground Floor, Po Lung Centre, 11 Wang Chiu Road, Kowloon Bay, Hong Kong
Tel: +852-2796-2327 Fax: +852-2796-0064 E-mail: info@spirallogic.com.hk

C2011 SPIRAL LOGIC LIMITED All rights reserved.

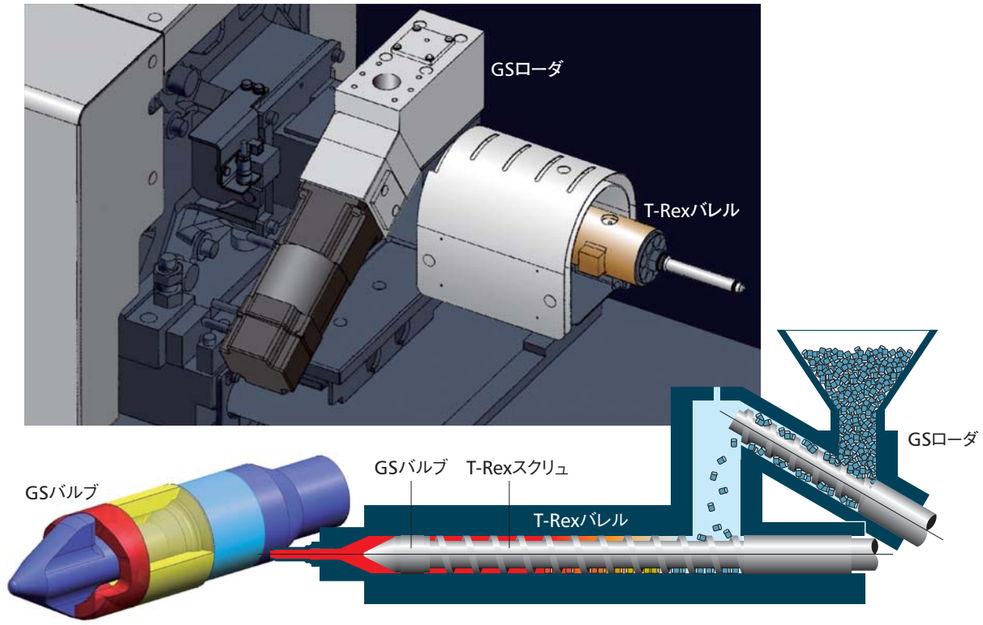
ver1.2 2011-05

目　次

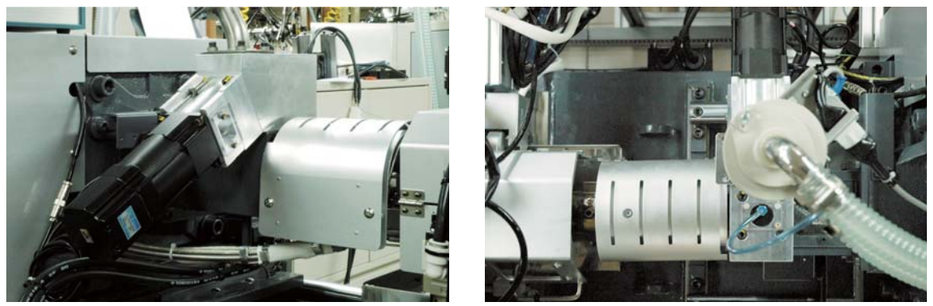
1 システムの構造 …… 02
2 可塑化各ゾーンの構成と機能 …… 03
3 温度の設定 …… 08
4 背圧の設定 …… 11
5 メインスクリュ回転数の設定 …… 12
6 GSローダ回転数の設定 …… 13
7 GSバルブの設定 …… 17
8 サックバックの設定 …… 17
9 樹脂の交換 …… 18
10 量産開始時の注意 …… 18

1 システムの構造

SPIRAL LOGIC の可塑化システム「T-Rexユニット」は、ペレットを定量供給するGSローダ、各ゾーンの役割ごとのヒータを装備するT-Rexバレル、圧縮部がないため滞留を起こさないT-Rexスクリュ、およびシャットオフ式スクリュチップのGSバルブから構成されています。



【図1 T-Rexユニットの構造】

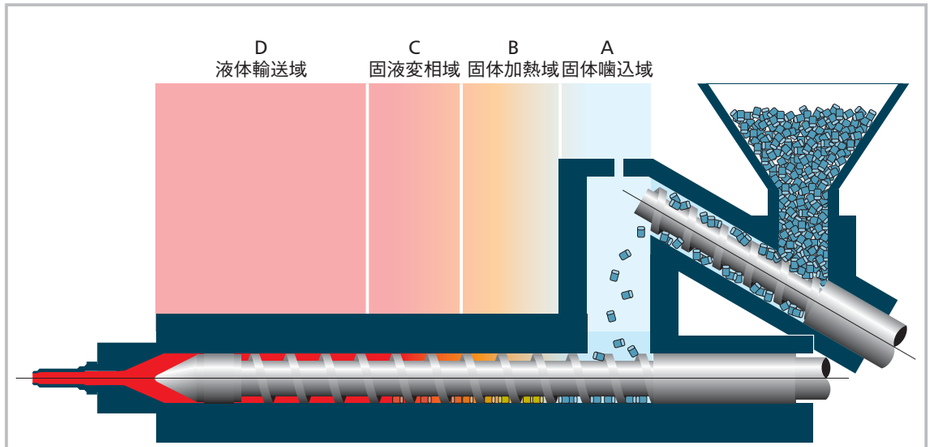


【写真1 T-Rexユニットの外観】

2 可塑化各ゾーンの構成と機能

T-Rexユニットは、GSローダ側から、A.固体噛込域・B.固体加熱域・C.固液変相域・D.液体輸送域の4ゾーンで構成されており、以下に示すそれぞれの機能を担っています。

A. 固体噛込域：GSローダから供給されたペレットを、バレル前方へ確実に送り込む(強い噛込力)。
B. 固体加熱域：ペレットを融点近傍まで加熱する。
C. 固液変相域：固体のペレットを液体のメルトへと変相させる。
D. 液体輸送域：メルトを混練しながら圧力リング・GSバルブを通過させ、スクリュヘッド前方へ輸送する。



【図2 T-Rexユニットのゾーン構成】

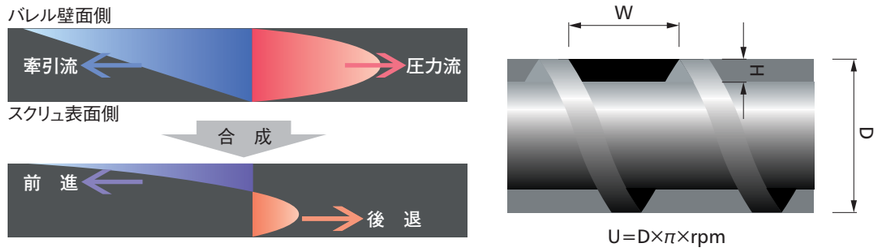
2 可塑化各ゾーンの構成と機能

インライン式スクリュは、液体であるメルトと、固体であるペレットの両方を同時に取り扱います。そこでここでは、スクリュにおける液体と固体の輸送能力について説明します。

液体輸送能力(Q_L)は、スクリュ回転によって発生する牽引流から、差圧により発生する圧力流を引いたものになります。粘性の低い樹脂では、圧力流が大きくなるために液体輸送能力は低くなり、逆に粘性の高い樹脂では、輸送能力は高くなります。一方、固体輸送能力(Q_S)は、スクリュ回転数・かさ密度・輸送効率から決定され、通常の樹脂では、おおよそ牽引流と同程度の大きさとなります。

つまり、従来の可塑化システムにおいては、圧力流の大きさだけ液体輸送能力の方が低いにもかかわらず、固体のペレットがどんどん供給されてしまうため、バレル内に異常な圧力が発生し、「ネジ抜き」現象を引き起こしています。これは、SPIRAL LOGICの圧力バレルのプレゼンで、確認することができます。

この固体と液体の輸送能力のバランスをとるため、液体の輸送能力に合わせたペレットの供給量を調整するのが、GSローダの役割です。



$U = D \times \pi \times rpm$

液体輸送能力：Q_L＝牽引流－圧力流

$$= \frac{WHU}{2} - \frac{WH^3 \Delta p}{12 \eta \Delta x}$$

固体輸送能力：Q_S＝WHU×かさ密度×輸送効率

$$= WHU \times 60\% \times 80\%$$
$$\fallingdotseq \frac{WHU}{2}$$

⚠ η：樹脂の粘性　Δp：圧力差　Δx：液体距離 (説明は次ページ)
以上の方程式は、ニュートン流体としてとらえた平面的モデルに基づくもの。

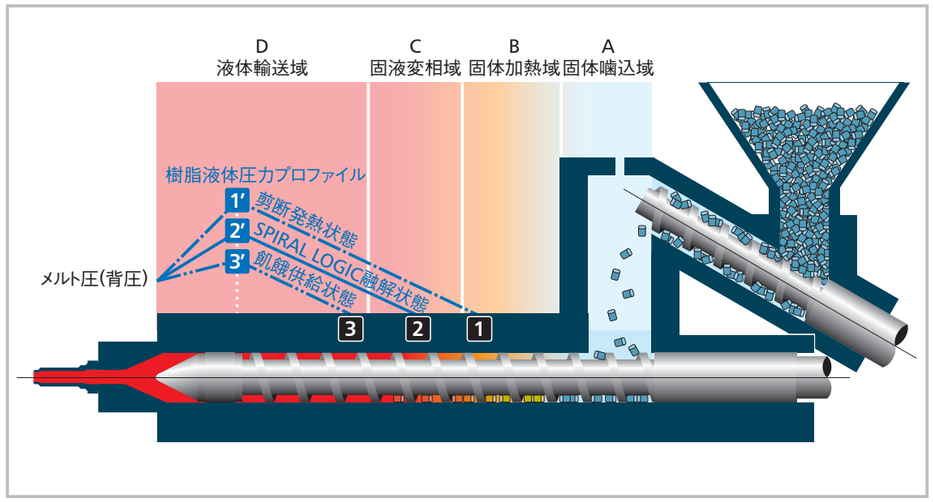
【図3 液体と固体の輸送能力】

2 可塑化各ゾーンの構成と機能

液体輸送域の樹脂の圧力プロファイルを見てみましょう。

GSローダを過剰供給に設定すると、剪断発熱状態となります。この時の液体開始点(固液変相点)は図中の1で、圧力リング後方の圧力ピークは1′のように高くなります。GSローダからの供給量を徐々に制限していくと、液体開始点は、1→2→3と移動し、対応する圧力ピークは1′→2′→3′となります。

液体開始点から圧力リング後方の圧力ピークまでの距離を、「液体距離」と呼びます。この液体距離は、交通渋滞における渋滞距離に例えることができます。車線規制などのボトルネック(＝圧力リング)が交通渋滞の起点となり、通行する車両(＝ペレット)が増えれば渋滞距離は伸び、車両が減れば渋滞距離は短くなります。GSローダは、この通行量(＝ペレット供給量)を調整して渋滞を解消するのです。



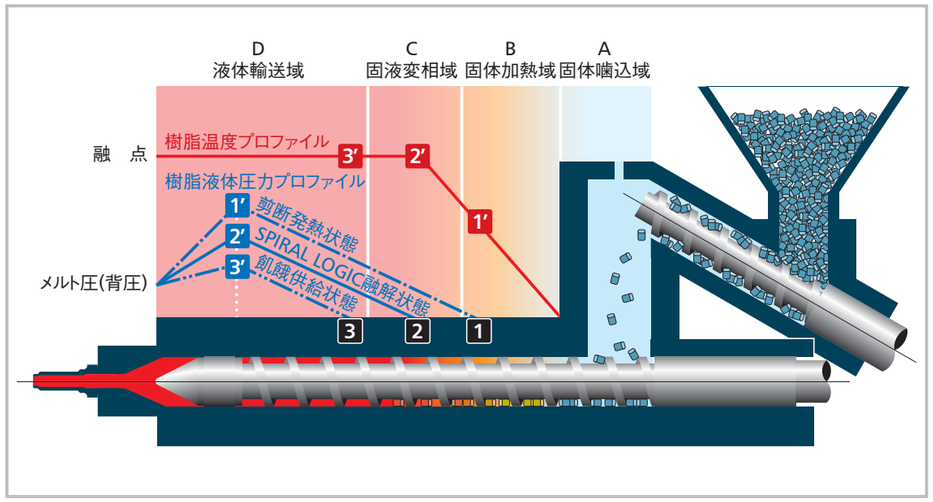
【図4 圧力プロファイルの変化】

次に、樹脂の温度に関して考えてみます。

GSローダから供給された固体のペレットは固体加熱域で加熱され、液体開始点に到達します。剪断発熱状態では、液体開始点の樹脂温度が 1′ のように融点に達していないため、この足りない熱エネルギーを、スクリュの運動エネルギーによって補う、いわゆる剪断発熱が起こり、「ネジ抜き」・「引きずり」・「樹脂温度のオーバーシュート」などの問題を起こします。写真2-a(次ページ)は、その際のバレル内部の樹脂の様子です。ソリッドベッド(引き側フライトの白い部分)とメルトプール(押し側フライトの透明な部分)がはっきりとわかります。また、ホッパ口から入って早い段階で溶けています。

GSローダからの供給量を制限して、液体開始点を2の位置とし、固体ペレットの温度がヒータの加熱によってちょうど融点に達するようにした状態を、「SPIRAL LOGIC融解状態」と呼びます。この状態では、剪断発熱は不要となるため、剪断発熱によって引き起こされる問題は生じず、その上後述する飢餓供給状態で起きる問題もないため、きわめて安定した成形を行うことができます。SPIRAL LOGIC融解状態の樹脂の様子を、写真2-b(次ページ)で確認することができます。GSローダの適正な供給によって、引き側フライトに空間ができています。

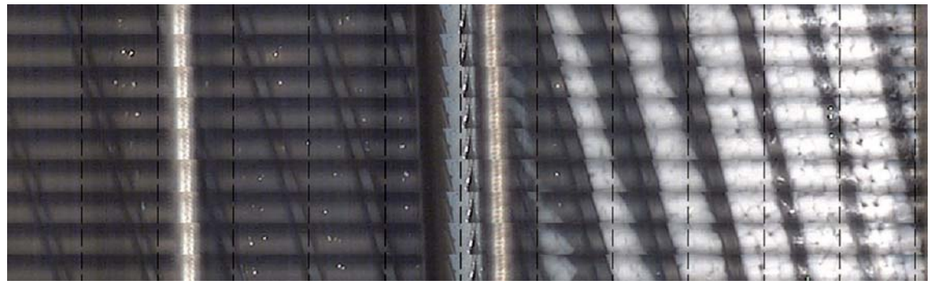
GSローダからの供給量が極端に少ない飢餓供給状態では、液体距離が3～3′のように短くなり、「計量時間のばらつき」・「流量不足による滞留炭化」・「混練不足による未溶融」などの問題が発生します。写真2-c(次ページ)が、この状態におけるバレル内部の樹脂の様子です。



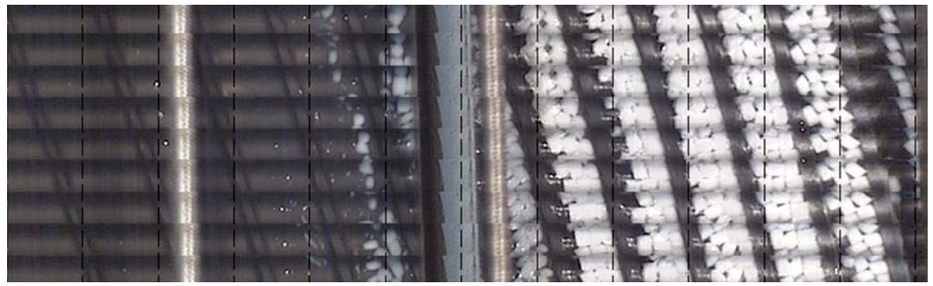
【図5 樹脂温度プロファイル】

2 可塑化各ゾーンの構成と機能

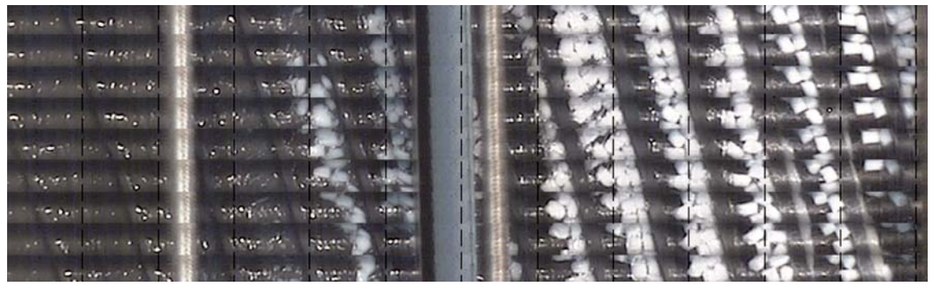
従来の圧縮部のあるスクリュでは、スクリュの部位により液体の輸送能力が異なるため、渋滞の起点となるボトルネックが流量によって変化してしまう結果、融解モデルが非常に複雑になり、可塑化の理解を妨げてきました。SPIRAL LOGICのT-Rexスクリュには圧縮部がなく、全長にわたって同じ溝深さにデザインされています。ボトルネックが圧力リングに固定されており、スクリュのどの部位でも同じ輸送能力を持っていることから、流量と液体距離がリニアな関係となるため、圧力センサや可視化バレルを使用しなくても、バレル内部の樹脂挙動を容易に推察できることが特徴となっています。



【写真2-a 剪断発熱状態】



【写真2-b SPIRAL LOGIC融解状態】



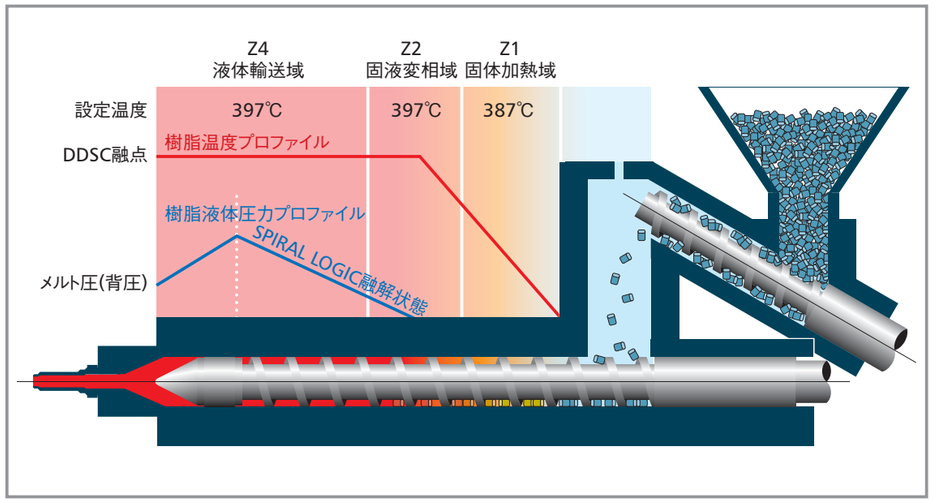
【写真2-c 飢餓供給状態】

3 温度の設定

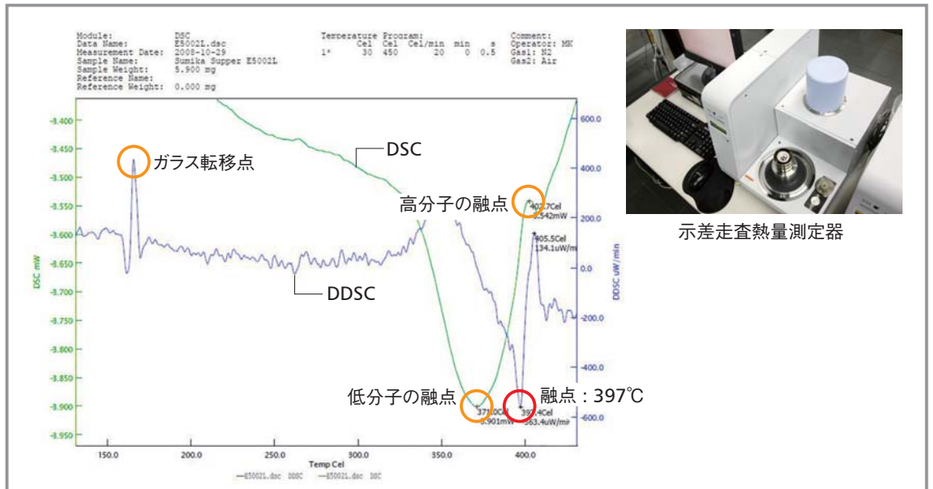
T-Rexユニットでは、固体加熱域をゾーン1、固液変相域をゾーン2、液体輸送域をゾーン4としました。

まず、ゾーン2を樹脂の融点に設定します。次に、ゾーン1をその融点より10℃低い温度に設定します。ゾーン4については、樹脂の分解点以下であれば、射出に必要な粘性を確保できる温度に設定することができます。また、T-Rexユニットはブリッジを起こさないため、水冷シリンダへの通水の必要はありません。樹脂乾燥度を保つ意味からも、水冷シリンダの温度は80℃以上を推奨します。

結晶性樹脂の場合は、示差走査熱量測定で得られるDDSCのピーク点を融点とすることが理想的です。以下は、SUMIKA SUPER E5002Lの設定例です。



【図6 SUMIKA SUPER E5002Lの温度設定例】



示差走査熱量測定器

⚠DDSCは、DSCの時間微分。DDSCが示す融点は、DSCの描く曲線の最大傾斜時の温度。

【図7 示差走査熱量測定(DSC)によるSUMIKA SUPER E5002Lの融点の特定】

3 温度の設定

SPIRAL LOGIC LIMITEDでは、お客様からのご要望を受けて、使用する樹脂のDDSC・TG(次ページ)の測定データを提供するサービスを実施しています。「可塑化がなんとなくうまくいかない」といった場合や、新しい樹脂をトライする際など、ぜひご利用ください。現在、独自に代表的な樹脂のグレード別に、100種以上のDDSCデータをファイリングしています。これらについては、すぐにお知らせすることができます。データがない樹脂・グレードの場合は、ペレットを数グラムお送りいただければ、1～2日で測定することができます。

⚠このサービスは無料ですが、測定したデータはSPIRAL LOGIC LIMITEDが自由に利用することを、あらかじめご了承下さい。

樹　脂	メーカー	ブランド	グレード	DDSC温度(℃)
LCP	住友化学	SUMIKA SUPER	E6006L	331.4
LCP	新日本石油	Xyder	NE123	406.3
LCP	上野製薬	UENO LCP	2030G	351.2
LCP	ポリプラスチックス	VECTRA	E130G	346.6
PPS	ポリプラスチックス	FORTRON	1140A6	288.7
PBT	ポリプラスチックス	DURANEX	3300	229.4
PA46	DSM	Stanyl	TS200F6	293.4

【表1 樹脂・グレード別DDSCの例】

粘性の低いLCPなどの樹脂を融解する際に起きる奇妙な現象に、「バレルの設定温度が高過ぎると未溶融が発生する」というものがあります。高分子が完全に融解するためには、図の左の状態のように、ランダムに絡み合った高分子の鎖が剪断(引き延ばされること)によってほぐれる必要があります。しかし、融点以上の温度がかかると、溶け始めたペレットの粘度が急激に低下し、まだ溶けていないペレットが「ダマ」のようになる結果、図の右のように未溶融を生じます。この未溶融が、ゲートバランスを狂わせます。また、未溶融が原因でゲートにおいてスパイラリングが起きれば、ブリスタの原因になる空気の巻き込みの可能性が増えます。

T-Rexユニットでは、前述のように結晶性樹脂のDDSCを参照して、適切な温度を設定することにより、この未溶融の発生を防ぐことができます。これは、DDSC融点ならば液体粘度が充分に高いので、混練作用がうまく働くためです。

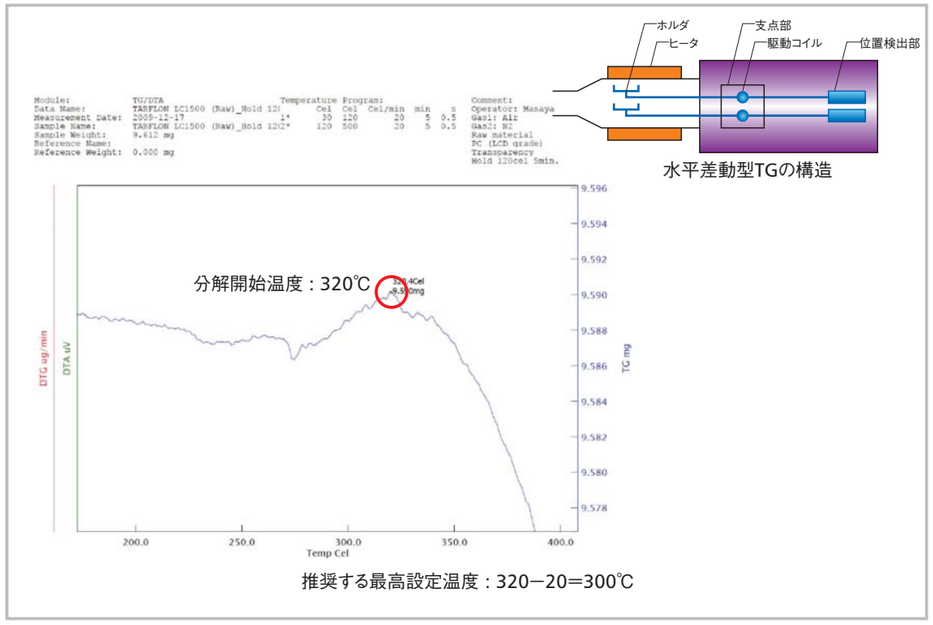
【図8 樹脂の融解状態】

3 温度の設定

非晶性樹脂には融点という概念がなく、ガラス転移点以上の温度が液体とされています。このため、結晶性樹脂のような方法でゾーン2・ゾーン1の温度を設定することができません。ゾーン4の温度は、その樹脂の射出に必要な粘性で決定されるため、経験的な数値で設定します。ゾーン2はゾーン4の温度＋0－20℃の範囲に設定し、ゾーン1はゾーン2の温度に対して－10℃の設定を推奨します。

ゾーン4およびノズルの最高設定温度は、熱重量測定(TG)にて決定します。図にPC TARFLON LC1500の上限温度の特定例を示します。熱重量測定にて得られた樹脂の分解開始温度に対して、安全を考慮した－20℃の温度が最高設定温度です。

T-Rexユニットでは、樹脂の融解にヒータの熱量しか使わないため、過剰発熱を引き起こすことがありません。熱履歴は、分解開始温度の低い樹脂でも従来型バレルより少なくなります。

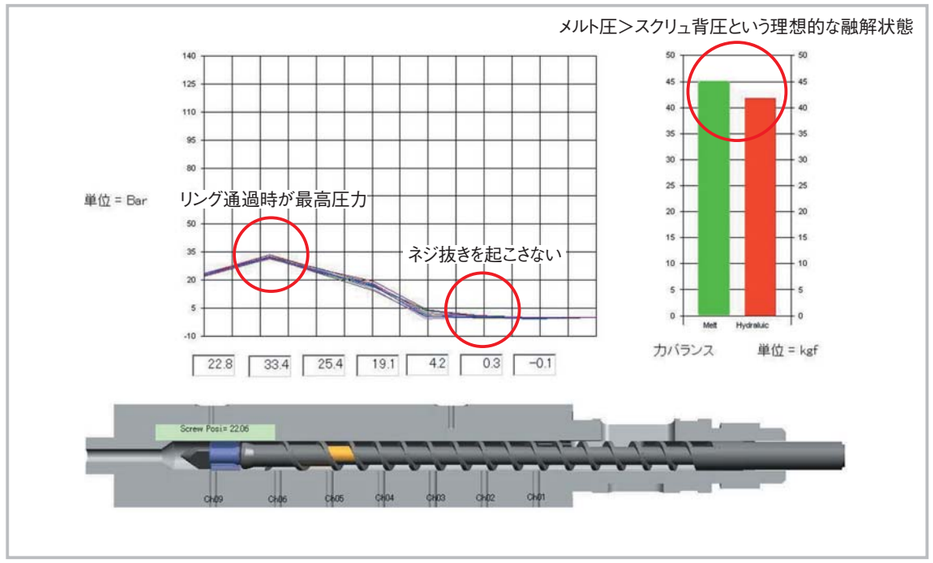


【図9 熱重量測定(TG)によるPC TARFLON LC1500の上限温度の特定】

4 背圧の設定

T-Rexユニットでは、圧力リング通過時にバレル内の圧力が最も高くなります。このため、背圧をかけなくても、圧力リング前方のメルトにはガスやエアは入りません。また、ネジ抜きを起こすこともありません。スクリュは、圧力リング前方のメルトの圧力だけで後退するため、混練の目的で背圧をかける、というような考えも不要です。

T-Rexユニットでの背圧は、単にノズル側からのエアの巻き込み防止を目的としているので、1～2MPaで充分です。また、計量開始から終了までは、下記のような特殊なケースを除いて、基本的に同じ背圧設定とします。



【図10 T-Rexユニットのバレル内圧力分布】

射出ストロークが長い場合は、固体樹脂間に射出による空洞が形成され、計量中にスクリュ後退が一旦停止したり、計量時間がばらついたりするケースがあります。この場合には、計量開始時にやや高めの背圧(2～3MPa)を設定して、前半のスクリュ後退を抑制し、射出により形成された空洞をGSローダから供給される樹脂で埋める、という方法があります。

5 メインスクリュ回転数の設定

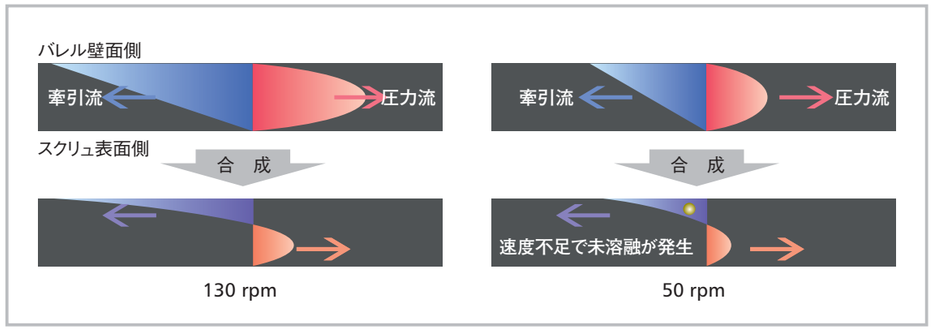
T-Rexユニットでは、樹脂の粘性によってメインスクリュの回転数を決定します。推奨する回転数を下の表に示します。

従来の可塑化システムでは、レンズ等の黒点を嫌う成形の場合、回転数を40～80rpmと低く抑えて、圧縮域の滞留炭化層を薄くする方法がとられていますが、この方法では、スクリュフライトでの剪断速度が図のように不足するため、未溶融が発生して白点の原因となります。T-Rexユニットでは、滞留炭化層の制約条件がないため、APELやZEONEXでも150～200rpmを推奨しています。

また、計量開始から終了まで、同じ回転数で設定することを推奨します。従来の可塑化システムでは、計量終了時に回転数を下げると計量が安定するといわれていましたが、これはネジ抜き対策ですので、T-Rexユニットでは意味がありません。

粘性・種類	樹脂例	推奨するメインスクリュ回転数
高粘性	POM	100～150 rpm
中粘性	PA6	150～250 rpm
低粘性	LCP	300～350 rpm
レンズ	COP(APEL, ZEONEX)	150～200 rpm

【表2 SL16(φ16mm)で推奨するメインスクリュ回転数】



【図11 メインスクリュ回転数による輸送能力(速度)の違い】

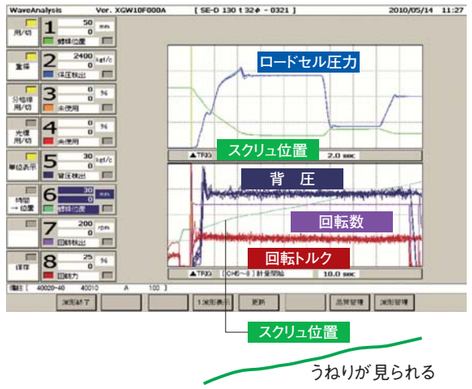
6 GSローダ回転数の設定

SPIRAL LOGIC融解状態となるためのGSローダ回転数は、飢餓供給状態より徐々に設定値を上げていき、波形を確認しながら適切な供給量を探ります。つまり、波形の見方が判断の基準となります。

T-Rexユニット	SL32(φ32mm)
樹　脂	PC(+GF)
メインスクリュ回転数	120 rpm
背　圧	2 MPa

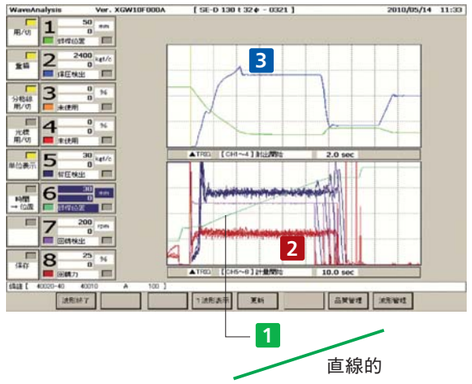
■GSローダ設定：40%

飢餓供給状態では、スクリュの後退が直線的ではなく、速くなったり遅くなったりとうねっています。これは射出ストロークの空洞に対して、後続する固体樹脂が間に合っていないため発生したものです。回転トルクは低く、かつ同様のうねりを持っています。また、飢餓供給状態では、樹脂の融解が不十分であるため、射出時の圧力波形がばらつきます。



■GSローダ設定：70%

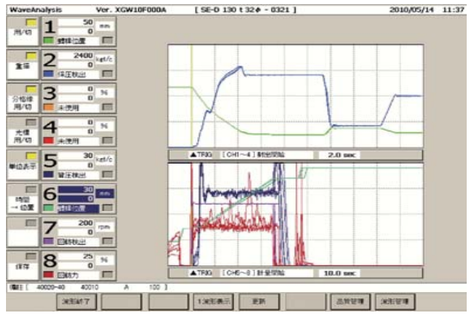
SPIRAL LOGIC融解状態では、スクリュの後退は直線的となり(1)、かつ回転トルクも安定します(2)。また、射出時の圧力波形も安定します(3)。



■GSローダ設定：120%

剪断発熱状態では、回転トルクに大きな振幅が発生します。また、樹脂によっては右肩上がりのトルク波形になります。射出時の圧力波形がばらつき、かつ引きずりを起こすので、SPIRAL LOGIC融解状態よりもピーク圧が高くなります。

ネジ抜き計量となるため、計量時間は安定する場合がありますが、肝心な計量密度は不安定です。



6 GSローダ回転数の設定

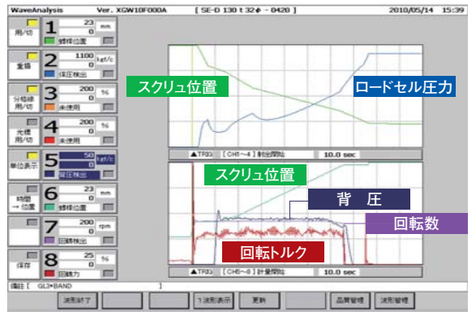
次に、エラストマの設定例を見てみましょう。この場合、GSローダとともにメインスクリュの回転数も調整します。

T-Rexユニット	SL32(φ32mm)
樹　脂	エラストマ

■GSローダ設定：200%

■メインスクリュ回転数：85 rpm

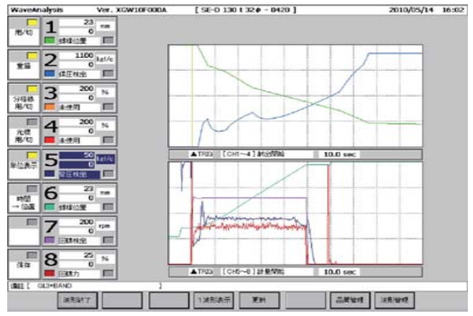
メインスクリュの回転数が低すぎ、かつ飢餓供給状態となっています。液体樹脂の圧力が不十分なため、スクリュとバレルの液体潤滑が不足し、回転トルクに回転数の波が乗ります。



■GSローダ設定：250%

■メインスクリュ回転数：120 rpm

メインスクリュの回転数と、GSローダの回転数を上げて、SPIRAL LOGIC融解状態にしました。

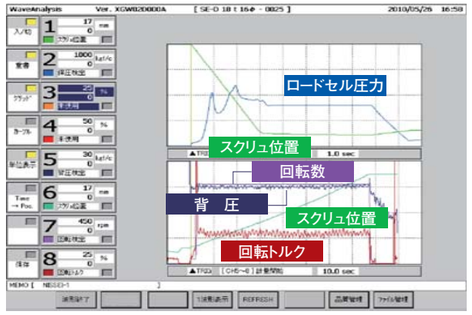


6 GSローダ回転数の設定

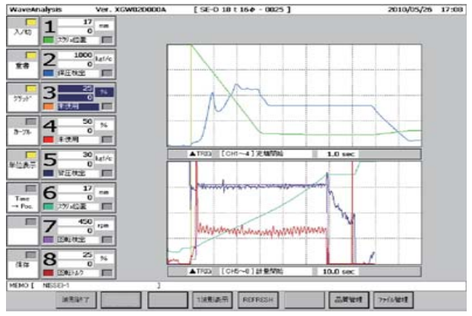
次に、LCPの例を見てみましょう。LCPのように回転トルク波形などに顕著な差が見られない樹脂では、以下の3パターンの波形のうち、どれがSPIRAL LOGIC融解状態であるかを見分けることができません。この場合は、ゾーン1.5の温度を活用することで、SPIRAL LOGIC融解状態を導くことができます。(ゾーン1.5は、LSタイプのバレルに装備されています。次ページに説明があります。)

T-Rexユニット	SL16(φ16mm)・LSバレル
樹　脂	LCP XyDAR RC-210
メインスクリュ回転数	350 rpm
ショット質量	2.0 g

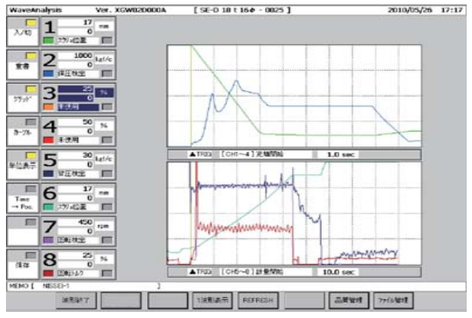
■GSローダ設定：12%



■GSローダ設定：18%

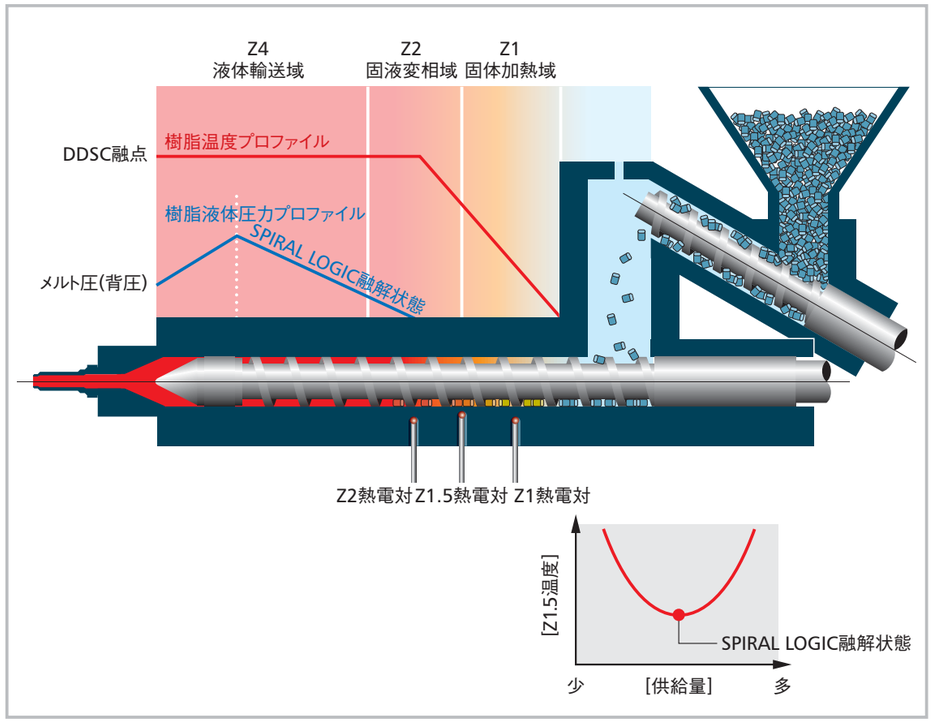


■GSローダ設定：24%



6 GSローダ回転数の設定

前ページの例のように、波形からではSPIRAL LOGIC融解状態を判断しにくい場合には、ゾーン1.5の温度を活用します。SL16(φ16mm)で開発されたLSバレルに装備されているゾーン1.5の温度は、供給量が低い飢餓供給状態では、熱量が樹脂に奪われないため高くなっています。供給量を増やしていくと、徐々にこの温度は低下し、SPIRAL LOGIC融解状態では最も低くなり、さらに供給量を増やすと、剪断発熱が発生するため高くなります(図中のグラフ)。つまり、ゾーン1.5の温度が最低の時に、SPIRAL LOGIC融解状態となっているわけで、これによって適切なGSローダの設定が可能となります。



【図12 LSバレルのゾーン1.5を利用したGSローダの設定】

前ページのLCPの例では、測定結果により、ゾーン1.5の温度が最も低いGSローダ設定値18%の時にSPIRAL LOGIC融解状態であることが確認できます。

GSローダ設定	Z1.5温度	クッション位置		ピーク圧力		計量時間	
		平　均	変動範囲	平　均	変動範囲	平　均	変動範囲
12%	402.7	1.881	0.036	612.0	57.8	8.00	0.33
18%	398.8	1.937	0.029	626.4	37.1	5.21	0.21
24%	404.5	1.888	0.045	678.4	57.8	3.97	0.08

【表3 測定結果によるSPIRAL LOGIC融解状態の検証】

7 GSバルブの設定

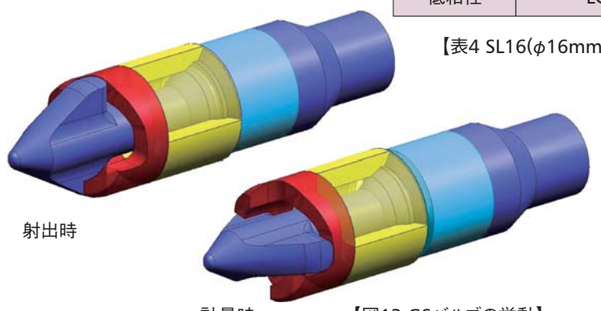
GSバルブは、計量完了後、スクリュを逆回転することにより、サックバック時の樹脂流れ込みと、射出時のチェックリングの閉まり遅れをなくし、安定した射出成形を可能にします。

GSバルブの回転角度は120～180°とし、回転速度は樹脂粘性により下の表から決定してください。なお、計量が安定していても、ショートショットやヒケなどがランダムに発生する場合は、GSバルブがうまく閉まっていないことが想定されます。この場合は、回転角度を大きくし、回転速度を遅くすることで問題を解消することができます。

カムリングのカム面およびヘッドの肩の摩耗防止のため、射出残圧をなくしてから計量回転する必要があるので、計量開始遅延時間を0.1～0.5秒間設定してください。

粘　性	樹脂例	推奨するメインスクリュ逆回転速度
高粘性	POM	10～40 rpm
中粘性	PA6	20～50 rpm
低粘性	LCP	40～70 rpm

【表4 SL16(φ16mm)で推奨するメインスクリュ逆回転速度】



【図13 GSバルブの挙動】

8 サックバックの設定

GSバルブによって、スクリュ側からの樹脂の流れ込みが発生しないので、0～2mm程度のサックバック量・15～30mm/sのサックバック速度の設定を推奨します。サックバック量が長すぎると、ノズルから空気を吸ってしまい、コールドスラッグや気泡の原因となりますので、ご注意ください。

9 樹脂の交換

SPIRAL LOGICでは、バレル内樹脂の先入れ・先出しが確立されているため、同一温度帯域(50℃以内)の樹脂であれば、スクリュを分解することなく、下記の手順で樹脂交換が可能です。

1. 先行樹脂の排出
   GSローダー内に残留している樹脂を除去・清掃し、バレル内の樹脂をパージする。
2. 後続樹脂による置換
   ヒータを後続樹脂の温度に設定し、昇温完了後、後続樹脂をパージする。この際、GSローダーの設定値を、実際の成形で使用する量より10～50%程度高めにし、固液変相域の樹脂置換を促す。

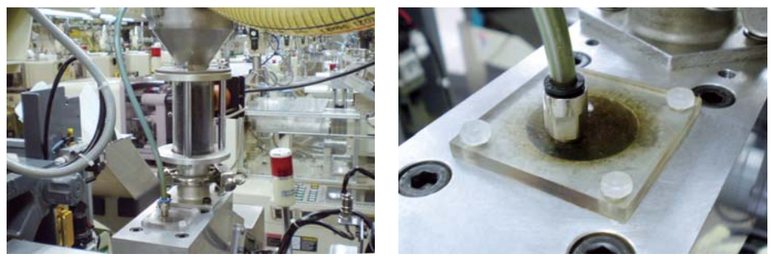
温度帯域が50℃以上異なる樹脂に交換する場合は、以下の理由により、スクリュ分解および洗浄による樹脂交換を推奨します。

A. 低温樹脂から高温樹脂に交換する場合
   残留する低温樹脂が、ヒータ昇温時に焼けることで、黒点の原因となるため。
B. 高温樹脂から低温樹脂に交換する場合
   ノズル内面等に残留する高温樹脂が固化し、低温樹脂を成形する際に少しづつ剥がれ、成形品に混入して異物不良を引き起こすため。

同じ樹脂で色替えを行う場合は、パージをせずにペレットを切り替えると、数ショットで色替えが完了します。

10 量産開始時の注意

1. パージの状態においてGSローダの設定を変更していなければ、ノズルから流出する樹脂のため、計量時間が成形時よりも長くなり、過剰供給状態となります。この状態で量産を開始すると、余分に供給された樹脂を消化するのに時間がかかり、成形が安定するまでの時間ロスが大きくなります。これを解消するため、量産開始時のパージでは、GSローダの設定値を50%程度低く調節してください。
2. GSローダ上のホッパの取付部およびアクリルカバーは、気密性を保つためしっかり固定してください。
3. GSローダ上のアクリルカバーに水滴が付着する時は、φ6mmのチューブを接続し、材料輸送管の回収側へつないで排気をしてください。
4. ホッパ検視管にペレット粉が付着している場合は、材料供給装置のフィルタを清掃してください。ペレット粉が大量に混入すると、GSローダの正常な運転を阻害することがあります。
5. GSバルブを分解清掃して元の状態にもどした時には、量産時の脱落を防ぐため、バレルを200℃まで昇温させ、GSバルブが確実に固定されているか再度確認してください。



【写真3 GSローダ上面】