

【ポリマーダイジェスト】

特集 ゴム・エラストマー成形加工技術の進歩

ゴム用ギヤポンプおよびギヤポンプ付押出機について

三葉製作所 小島 剛

最近、ゴムの押出において、ギヤポンプが、精密押出成形用、ストレーナー用として注目されているが、その特徴を検討する。

1. スクリュー式ゴム押出機（一軸）とギヤポンプの押出原理

スクリュー式ゴム押出機は、ゴムとシリンダライナ壁間の摩擦およびずりせん断を利用し、ゴム材料の軟化、昇圧、押出を行なう定圧型ポンプであり、押出圧力が大きくなると、押出量は減少する。ギヤポンプは、回転する歯車の、歯と歯の間の空間に充満させたゴム材料を、歯の噛み合いにより押出吐出を行なう、押出圧力が変わっても押出量に変化のない定容量型押出ポンプである（図 1 参照）。

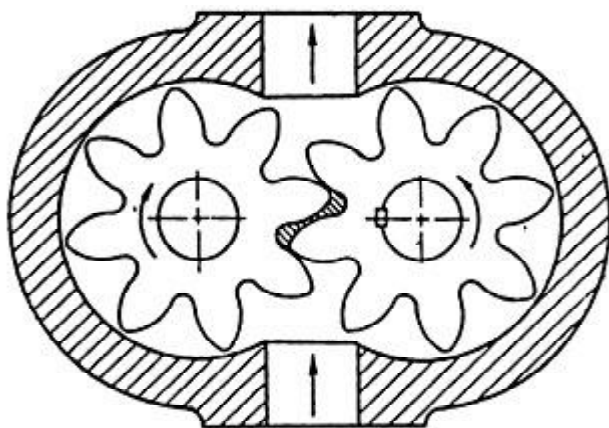


図 1 ギヤポンプの断面図

ギヤポンプはギヤ回転数が一定でも、ギヤポンプ歯車の噛み合いによる体積減少率が一定でないため、ゴムの流れに歯数に比例した脈動が発生する。一方、スクリュー式ゴム押出機の場合、このような機械的脈動の発生要素は持たないが、ゴムとライナ、スクリュー壁面間の摩擦係数の変動（温度、ゴム材料物性、運転条件等に影響を受けての）による押出変動が発生しやすい。

2. 一軸ゴム押出機の特徴

(1) ゴム押出機（一軸）は、カレンダーロールとともに、もっとも多くのゴム連続成形分野に使用されている。ゴム押出は、ゴム材料とシリンダ壁間の摩擦による推進圧力と、出口ダイ部のせん断抵抗圧力の影響を受けるため、以下の特徴を有する。

(イ) 押出圧力が大きくなると、比押出量（押出量/スクリュー回転数：kg/hr/rpm）が減少、またせん断発熱の増大により、押出ゴム温度が上昇する。

(ロ) スクリュー回転数が大きくなると、せん断発熱が増大し押出温度が上昇する。ゴ

ム押出機の出能力は多くの場合、ゴム押出温度により制限される。

(ハ) ゴム粘度が大きくなると、出口ダイ部の抵抗圧力が増大し、比押出量が減少する。

(2) ゴム押出機の出ゴム空気巻き込み

(イ) 適正に設計されたゴム押出機(一軸)スクリュは、フィード部に脱気作用を持つので、押出されたゴムは空気巻き込みが少ない。(図 2 参照)

(ロ) とくに脱気の必要な場合は、ベント機構付スクリュが組み込まれる。

(3) 自己ゴム噛み込み能力(セルフフィード)

近年の一軸ゴム押出機は、フィードロール付となっており、自己ゴム噛み込み能力(セルフフィード能力)がある。

(4) 高圧ゴム流路のシール部に運動部のない密閉構造

スクリュ出口から押出ダイ間の高圧ゴム流路シール部は運動部がなく、密閉構造であり、構造が簡単である。また外部へのゴム洩れもない。

(5) 混練り効果

スクリュそのものがある程度の混練り作用をもつが、高混練り機構の組み込まれたスクリュの組み込が可能である。

(6) 滞留時間

スクリュの長さのL/D表現が示すように、昇圧能力、押出量はスクリュ長に比例するため、高能力の出機スクリュ長はより長くなり、スクリュ部分での滞留時間も長くなる。

(7) セルフクリーニング性

出機スクリュは弱いながらもセルフクリーニング機能をもつので、材料替時、毎回スクリュを抜いて清掃する必要は少ない。

(8) 転開始時の立ち上り時間

スクリュ、シリンダ、ヘッドの温度安定時間が必要で、3～10分かかる。

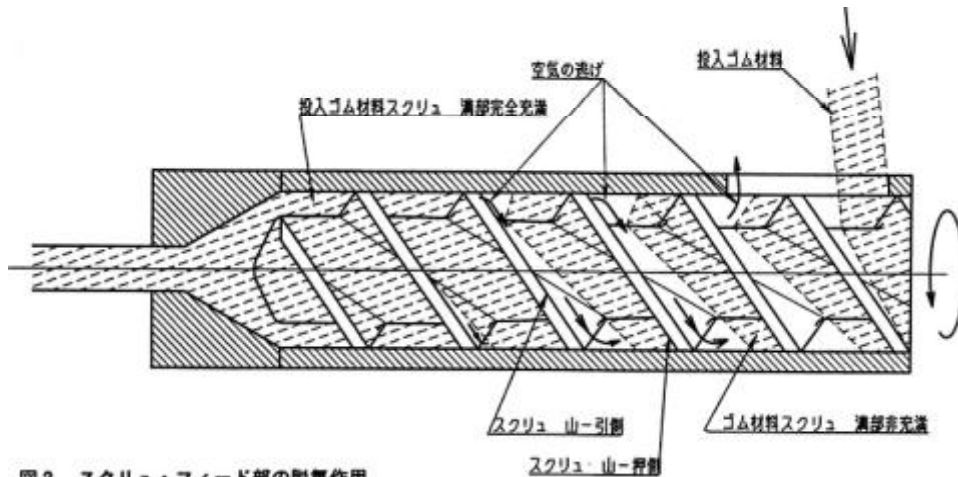


図2 スクリュ・フィード部の脱気作用

3. ギヤポンプの特徴

(1) ゴム材料とシリンダ壁間の摩擦及びずりせん断に関係のない定容量押出のため、以の特徴を有する。

(イ) 押出圧力が大きくなっても、比押出量（押出量/スクリュ回転数：kg/hr/rpm）が変わらず、せん断発熱による押出ゴム温度上昇が小さい。

(ロ) ギヤ回転数が大きくなっても、せん断発熱が小さいため、押出温度上昇（ ΔT ）が小さく、比押出量も変わらない。

(ハ) 高粘度ゴムで、出口ダイ部の押出圧力が増大しても、比押出量が変わらず、押出ゴム温度上昇が小さい。

このようにギヤポンプの場合、高回転数、高押出圧でも発熱が小さく、温度上昇が小さいため、高吐出押出が可能となる。

(2) ギヤポンプの押出ゴムの空気巻き込み

ギヤポンプのフィード部は脱気作用をもたないため、押出ゴムの空気巻き込みが多い。ギヤポンプ内部に脱気機構を組み込むことは、現状では困難である。このため後述の押出機が組み込まれていない、直接フィード型ギヤポンプ（含むフィードロール付き）は、ストレーナー用等、最終押出成形工程の前工程用か、または空気巻き込みをある程度許容する用途（または脱気機構が後工程にある用途）に限定される。

(3) ゴム材料粘度は非常に高いため、水や油のようにギヤポンプで自己吸入することは困難である。空気巻き込みのないゴム材料を押出するためには、ギヤポンプ入口側に圧力（ゴム材料にもよるが 0.1 MPa 以上）をかける必要がある。

(4) 自己ゴム噛み込み能力（セルフフィード）

歯車のゴム噛み込み入口部をアンダーカット形状にし、二本一組のフィードロールを組み込んだギヤポンプは、自己ゴム噛み込み能力（セルフフィード能力）を持つが、スクリュ

押出機に比較して、自己ゴム噛み込み能力（セルフフィード）は劣る。

（５）高圧ゴム流路に運動部があり、密閉構造化が困難押出圧力を創成する歯車を外部から駆動するため、駆動源と歯車の間に、高押出圧力に耐える回転シールが必要となる。駆動軸以外の回転シール部分に、樹脂用ギヤポンプでは、シール部を通過した押出材料を、再びギヤポンプ入口へ戻す循環式シール構造が採用されているが、ゴム材料では加硫によるゴム焼けという、ゴム材料特有の性質があり、循環式シール構造の採用は、特定の条件以外では難しい。

回転シール部を通過したゴム材料は外部へ排出され、ほとんどの場合、循環再使用はされない。回転シール部からのゴムリーク量は、全押出量の0.1%以下（押出圧7～25 MPaで運転）の実績がある。

（６）閉じ込み現象

歯車の噛み合い部には、歯の噛み合いにより閉じ込み部分ができ、この部分のゴム材料は、入り口側に戻される（図1. 斜線部）。

閉じ込み部分のゴム材料が完全密閉されると、異常圧力が発生し、軸受等に損傷を与えるので、歯車両側面の相手側壁に、逃がし溝が加工される。

（７）歯車軸受の構造

ギヤポンプの歯車を支える軸受方式は、ゴム材料を潤滑剤としたジャーナル軸受のタイプと、転がり軸受のタイプがある。ジャーナル軸受の場合、軸受自身が回転シールを兼ねる。ジャーナル軸受の外側に更に、逆ネジ付円筒式非接触シール機構を組み込んだギヤポンプもある。ジャーナル軸受と歯車軸間の隙間は非常に小さく、ゴム材料中の硬い異物や繊維入りゴム等、軸受部隙間より大きな固形物体は、軸受性能を損なう恐れがある。ジャーナル軸受内径には、負荷能力向上のため、特殊形状の溝が加工されているポンプもある。ジャーナル軸受はその特性上、ある回転以下では、潤滑ゴム膜が破れ、金属接触が発生し、軸受として機能しなくなり、運転できないので注意を要する。

転がり軸受式は、歯車と軸受の間に、円筒式非接触シール機構が組み込まれ、円筒内径または外径側に、逆ネジが加工されている。転がり軸受式にはグリースまたは潤滑油が、潤滑剤として使用され、ジャーナル軸受方式のような、低速回転域での運転制限はない。転がり軸受式は、軸受潤滑剤のシール等、構造がジャーナル軸受方式より複雑となる。ジャーナル軸受式、転がり軸受式とも歯車部、回転シール部の発生熱を除去するため、中心部に冷却穴を設け、ロータリジョイント付きとし、水冷可能としたポンプもある。

歯車の駆動系には、軸受に余分な負荷が外部から掛からぬよう、ユニバーサルジョイントが組み込まれる。ユニバーサルジョイントの代わりに、滑動スプライン結合が使用されているポンプもある。

（８）押出加圧機構に歯車式定容量押出構造を採用

定容量押出のため、ゴムの種類を選ばず高精度押出が可能であるが、歯数に比例した周波数（歯数 \times rpm/60:Hz）の押出脈動があるため、その押出精度には限界がある。

脈動により押出成形品の表面に、「ギヤマーク」と呼ばれるまだらの連続模様が発生することがある。押出脈動を小さくするため、歯のねじれたはずば歯車、左右両ねじれのやまば歯車が使用される。はずば歯車の場合、歯のねじれにより歯車の側面にスラスト力が発生するが、やまば歯車のスラスト力は、相殺されて発生しない。歯の全ねじれ角があまり大きいと、歯車の噛み合い部で、出口側から入口側へゴム材料の吹き抜けが発生し、押出精度の低下、比押出量の変動をひき起こすことがある。

はずば歯車の従動側歯車軸も駆動し、スラスト力が発生しない機構を採用したギヤポンプもある。押出精度には相対押出精度(%)と絶対押出精度(重量/時間)がありどちらをとるか注意が必要である。大押出量の時、相対押出精度(%)が良くても、絶対押出精度(gr/秒)は低下する。比押出量の大きいギヤポンプで小吐出の押出をする時、問題となる。ギヤポンプの場合、押出精度は押出機のように、ゴム材料の粘度物性、摩擦係数に影響されないため、構成要素の温調精度には鈍感であるが、ギヤの回転精度には直接影響される。

(9) 滞留時間およびせん断発熱

ギヤポンプは、入口～出口間のゴム流路長が短く、せん断発熱部も歯車噛み合部、歯車歯先部および、側面部のみのため、スクリュ溝部全体のせん断発熱量が大きいスクリュ押出機と比較して、発生熱量が小さい。ゴム流路長が短いためゴム焼けも発生しにくい。

せん断発熱量の尺度となる比エネルギーは、ゴム押出機の $0.06 \sim 0.21$ (kW / kg / hr) に対し、ギヤポンプは $0.01 \sim 0.03$ (kW / kg / hr) である。高吐出、高圧押出でも温度上昇が小さいため、押出機(一般に#60 メッシュ前後)と比較して、ギヤポンプは非常に細かいメッシュスクリーン(#200 メッシュ可能)を取付けることができる。

(10) 混練効果

ギヤポンプはゴム流路長が短く、高混練部もないため、混練作用は期待できない。

(11) セルフクリーニング性、材料替え

ギヤポンプは歯底部にゴム材料が残留するため、セルフクリーニング機能を持たず材料替時、毎回歯車部を露出、清掃する必要がある場合が多い。ギヤポンプギヤの歯車部を露出、清掃しないで、次の製品でパージする方法もある。

(12) 押出ヘッド

ゴム押出機用と同一構造の押出ヘッドが使用でき、とくにギヤポンプ用として考慮した構造に変える必要はない。

(13) 運転開始時の立上時間

定容量押出のため非常に早く立ち上り、安定するまでの時間も短い。

(14) 温度制御

プラスチック用ギヤポンプは電気ヒーターによる加熱制御のみであるが、ゴム材料押出用はギヤポンプボデーに温水ジャケットが組み込まれている。歯車軸中心部にロータリージ

ョイント付水冷穴を設け、冷却可能としたポンプもある。

(15) 耐久性

歯車、軸受等、重要部品には高硬度材料が使用され、耐久性に問題はないと思われる。すでに樹脂用にギヤポンプは広く使用され、また国外のゴム用ギヤポンプの使用実績から判断しても、耐久性に問題はないと思われる。

4. ギヤポンプ付一軸ゴム押出機の特徴

以上で一軸スクリュゴム押出機とギヤポンプについて比較したが、この両者を合体させたギヤポンプ付一軸ゴム押出機は、ギヤポンプの欠点を補う非常に優れた押出装置である。写真1 図 3にギヤポンプ付一軸ゴム押出機の例を示す。

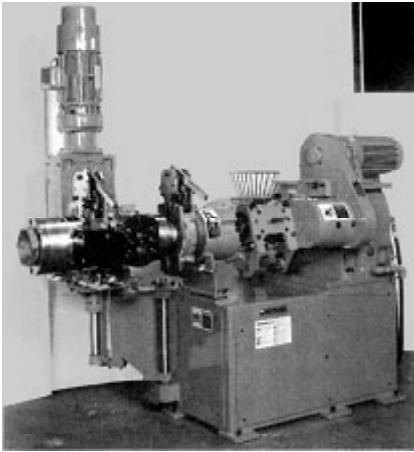


写真1：ゴム用ギヤポンプ付き押出機

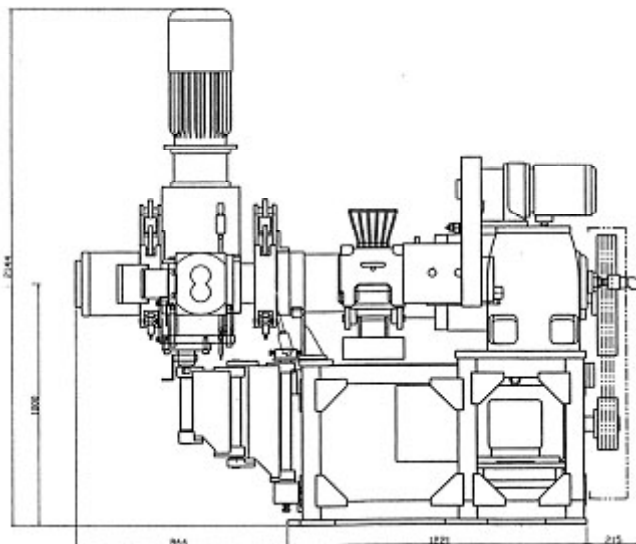


図3-1 外形図（正面図）

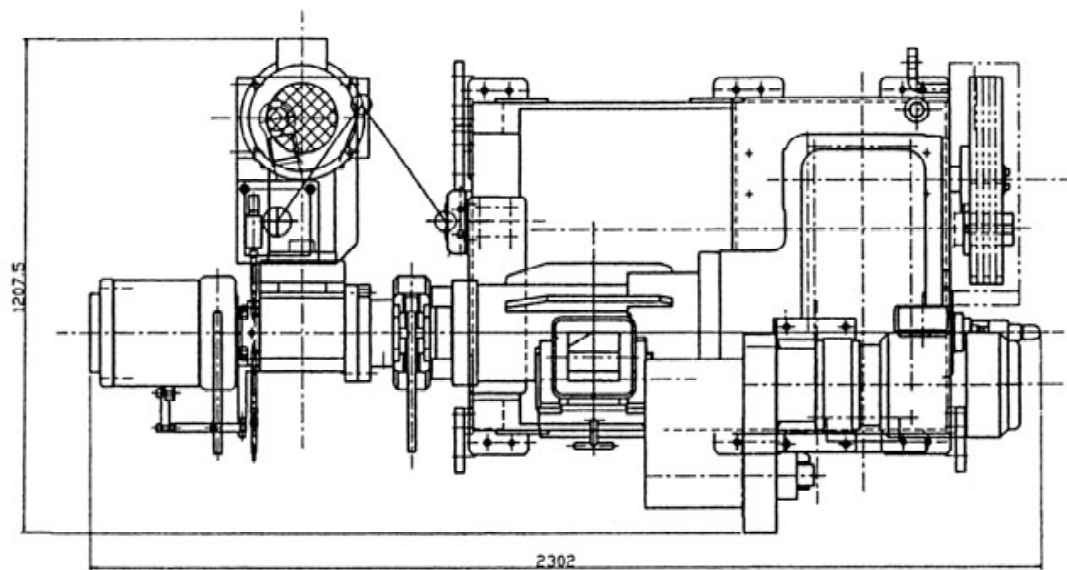


図 3 - 2 外形図 (平面図)

(1) はん用性

ゴム材料フィードを押し機から行い、押し機をギヤポンプの材料供給機として用い、定容量押出のギヤポンプにより昇圧する。このため、高吐出圧力でもゴム材料の粘度が変化しても比押出量は一定であり、装置全体の発生熱量が抑えられてゴム押出温度が上がらず、比押出量もが変わらない。スクリュ押し機は、ゴム材料フィード及び、ギヤポンプへの材料供給のみを行えばよいのでL/Dは短くて(3~6)よい。

(2) 脱気効果

ゴム材料フィードを押し機から行なうので、押し機フィード部での脱気効果により、押し出ゴムの空気の巻き込みが少ない。特に強力な脱気の必要な場合は、L/Dを長くしてベント機構付スクリュを組み込むことも可能である。

(3) ゴム材料喰い込み性能および押しバラツキ

フィードロール付押し機によりゴム材料フィードを行なうため、自己ゴム噛み込み作用(セルフフィード)がある。フィードロール付ギヤポンプと比較して、ゴム材料の喰込み安定性が良く、ゴム材料切れを起こし難くなる。昇圧部が定容量押しギヤポンプのためゴムの種類を選ばず、高圧、低圧でも高精度押しが可能である。(ただし脈動は残る) 表1に押しバラツキのもっともよかった一例を示す。

表1 バラツキ試験テストデータ

機械名	ギヤポンプ付き1軸ゴム押出機			
スクリュ	90 mm L/D5.2 (フルフライトタイプ)			
材 料	EPDM材 ムーニーVm24~36			
ダイスサイズ	φ5×10 L		φ10×10 L	
G/Prpm	10 rpm	20 rpm	10 rpm	20 rpm
No.	押出重量 [g/15秒]			
	①	②	③	④
1	305.94	913.39	310.23	931.04
2	305.65	913.20	310.47	930.91
3	305.95	913.01	310.35	931.67
4	305.84	913.33	310.47	930.74
5	305.82	912.88	310.40	930.56
6	305.73	912.91	310.39	930.97
7	305.94	912.81	310.32	931.01
8	305.78	914.00	310.45	931.31
9	305.73	913.27	310.37	931.28
10	305.62	912.97	310.35	931.42
11	305.77	913.30	310.52	931.67
12	305.88	913.31	310.32	931.38
13	305.91	913.29	310.39	931.78
14	306.08	912.88	310.41	931.44
15	305.61	914.06	310.36	932.30
16	305.70	914.11	310.58	932.56
17	305.65	913.91	310.42	931.40
18	305.77	914.37	310.60	931.67
19	305.84	913.41	310.21	931.61
20	305.85	914.01	310.18	931.11
21	305.68	914.33	310.47	931.95
22	305.77	913.84	310.43	931.36
23	305.77	913.73	310.36	931.22
24	305.71	914.25	310.31	931.24
25	305.81	913.91	310.38	932.18
26	305.85	913.61	310.18	930.79
27	305.62	914.06	310.20	930.70
28	305.95	914.13	310.20	
29	305.76	913.82	310.27	
30	306.01	914.52	310.36	
31	305.78	914.02	310.22	
32	305.92	914.30	310.12	
33	305.91	914.28	310.34	
34	305.69			
35	305.73			
MIN [g]	305.61	912.81	310.12	930.56
MAX [g]	306.08	914.52	310.60	932.56
平均 [g]	305.80	913.67	310.35	931.38
R [g]	0.47	1.71	0.48	2.00
偏差 [σ]	0.118	0.516	0.117	0.494
3σ/AVE×100 [%]	0.12	0.17	0.11	0.16
R/AVE/2×100 [%]	0.08	0.09	0.08	0.11
吐出量 [kg/h]	73.4	219.3	74.5	223.5

4) 吐出ゴム温度

同一押出量で比較した場合、フィード押出機は短L/D化、小サイズ化（スクリュ径）され、比エネルギー（kW/kg/hr）は

「ギヤポンプ」 < 「押出機+ギヤポンプ」 < 「スクリュ押出機」である。

比エネルギーに比例して吐出ゴム温度は低くなる。 図4. に一軸ゴム押出機とギヤポンプ付ゴム押出機の吐出ゴム温度の比較例を示す。

(5) ストレーナー用、汎用ゴム製品押出用、ベント式、混練スクリュ付等、製品のニーズに合わせた押出機+ギヤポンプの組み合わせが可能となる。

(6) スクリーンメッシュサイズ

細かいメッシュサイズのスクリーン（例 #200メッシュ）を、ギヤポンプと押出ダイの間に取付け可能である。ギヤポンプ保護のため、押出機とギヤポンプ間に、メッシュサイズの粗い（例えば#20、#30等）スクリーンを組み込むことも行われている。

(7) 設置スペース

設置に要するスペースは、同一押出能力を持つコールドフィード押出機とほぼ同じであり、稼働中のラインの既設押出機との入替も可能である（図3参照）。

(8) 駆動系及び運転操作

駆動系が押出機とギヤポンプの2系統になり、運転が複雑化すると考えられがちである。しかし、樹脂用ギヤポンプと同じく、押出機～ギヤポンプ間に組み込んだ圧力センサーによる電気信号で、ギヤポンプ入口圧力が一定になるよう、押出機回転数をコントローラーで自動制御するので、ギヤポンプ回転のみを操作すればよい。入口圧力コントローラーは高精度押出の時は特に必要である。

(9) 運転開始時の立上時間

押出機出口に定容量押出のギヤポンプがあるため、立ち上がりが早く、安定するまでの時間が短い。回転数に対する応答が速いので、精密可変断面押出成形にもギヤポンプが使用されている。ギヤポンプ付90mmゴム押出機で、ギヤポンプ回転数5 rpm時、約40秒で立上った時のデータを、図5. に示す。

(10) 段取り替え（ゴム替え時間）時間

押出機内スクリュを廻し、ゴム材料排出しながら、ギヤポンプギヤの清掃を行なうことができ、ギヤポンプ単体の場合とあまり変わらない時間で、段取り替えができる。

ギヤポンプ単体時と同じように、ギヤの分解、清掃をせずに、ゴム替えを次の製品のゴム材料でパージする方法もある。

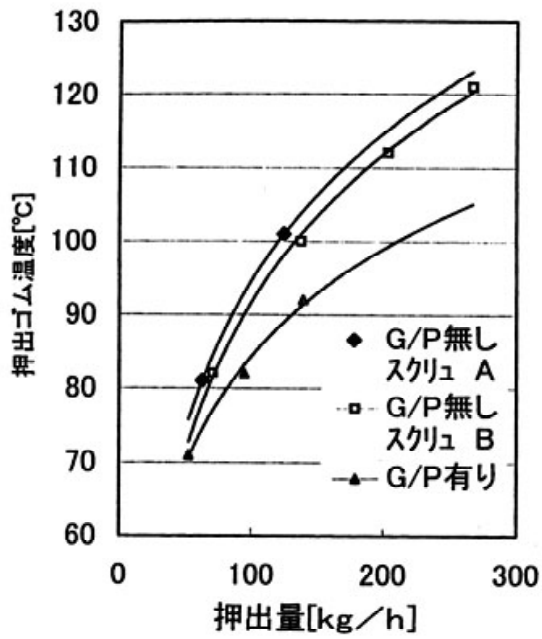
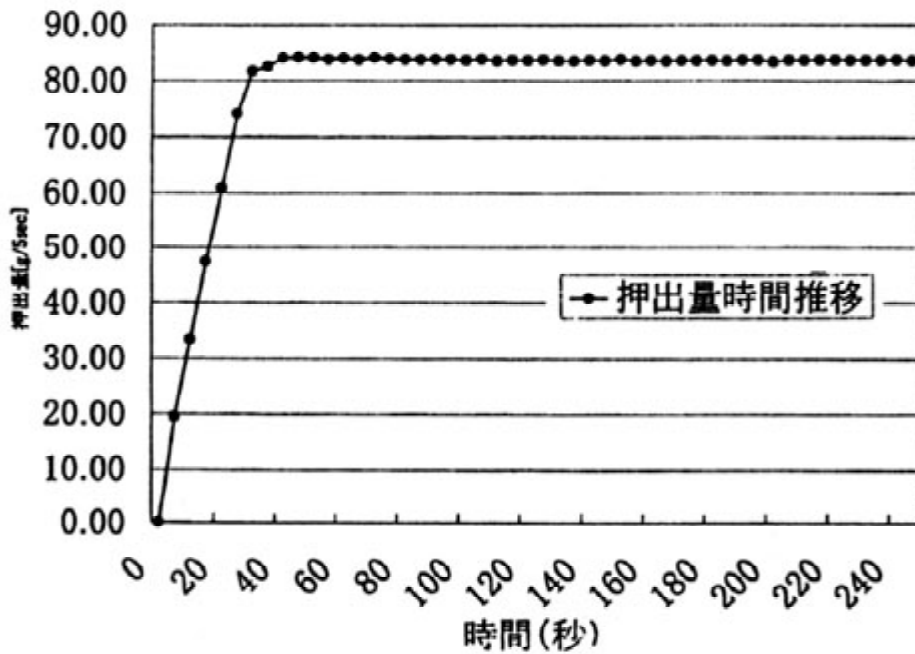


図4 押出量—押出温度
ギヤポンプ使用&未使用



90 mm 押出機(L/D : 12) + ex70
G/P : 5 rpm 材料 : EPDM 押出機 : 圧力制御 入口 : 50 kg/cm²
図5 安定時間

終りに

ゴム材料連続成形用の一軸スクリュウ押出機、ギヤポンプ、一軸スクリュウ押出付ギヤポンプの長所、短所をまとめてみた。ギヤポンプは押出バラツキの良さ、短時間立ち上り、高圧押出時の低発熱性、高速応答性等、非常に優れていますが、ギヤポンプ単体ではゴム材料に空気を巻き込みやすいため、材料供給機として一軸スクリュウ押出機をドッキングした、ギヤポンプ付一軸ゴム押出機が、多くの生産現場に適用可能と考える。

国内はタイヤ用等特殊用途のゴム材料押出にギヤポンプが使用され始めおり、一般用ゴム押出の分野にも広く採用されること期待したい。

弊社上田工場にテスト機が常設してるので、営業担当者にコンタクトして頂ければ押出テストが可能である。

『ポリマーダイジェスト VOL55 より』