

ガラス成型技術の概要

日本電気硝子(株)

成型技術グループ

Outline of Glass Forming Technology

Glass Forming Technology Group

Nippon Electric Glass Co. Ltd.

1. はじめに

ガラス成型において国際競争力のある生産は、物作りの改革がなされ、生産性（品質も含めて）が単位設備やライン当たり従来の2倍、3倍に引き上げられたものである。即ち過去の複数稼働ラインを最少に集約し、それまで以上の生産を可能にしたラインのみが生き残ることになる。それには成型の格段のスピードアップ、ダブル〜クオード（4）ゴブによる飛躍的な生産技術の開発が必要であろう。またラインの集約化は環境対策や省資源へも貢献する。

2. 板ガラス成型

板ガラスの製造方法では、現在実用成型方法としてフロート法、ロールアウト法、スロットダウン法、フュージョン法等が広く知られている。その中で各々の成型方法は板ガラスの用途、ガラス組成により技術及び経済性の面から有効な方法が採用されている。

フロート法（図1）は、密閉された熔融スズ浴に熔融ガラスを供給し、熔融スズ面上で板ガラスに成型する大規模生産方式で、しかもロー

ルアウト法で成型した板ガラスで必要とされる研磨が不要となり、製造コスト的に非常に有利な製造方法である。建築用や車両用の窓ガラスの生産に採用されている。しかし、熔融スズ浴中のスズの酸化防止のため窒素と水素からなる還元性ガス雰囲気で作業されるため、鉛ガラスや砒素・アンチモン等の金属清澄剤を含むガラスには実用的でない面もある。フロート法は窓板ガラスに限定して技術開発が行われた成型方法であるが、最近窓板ガラス以外のガラス、例えば液晶やプラズマディスプレイ基板用高歪点ガラスの成型が行われ製品化され始めている。

ロールアウト法（図2）は二本一対の水冷されたロールで板に成型する、比較的少量多品種で汎用性の高い成型方式であるが、ロールの表面が板ガラス表面に転写されるため研磨が必要となる欠点がある。原子力施設やレントゲン室に使用される鉛ガラスはこの方法で成型した後、研磨して製品にしている。そして、欠点と

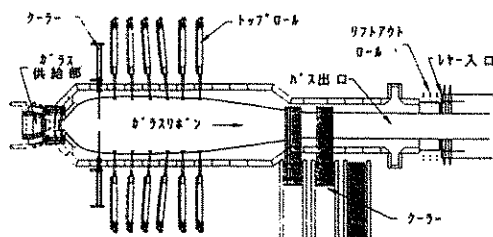


図1 フロート法

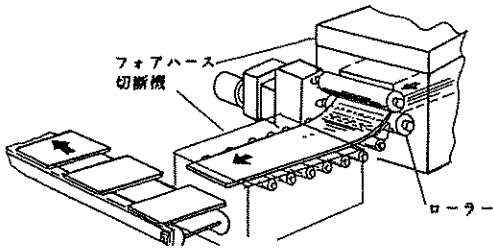


図2 ロールアウト法

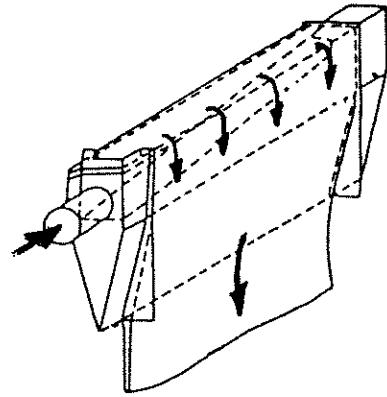


図4 フュージョン法

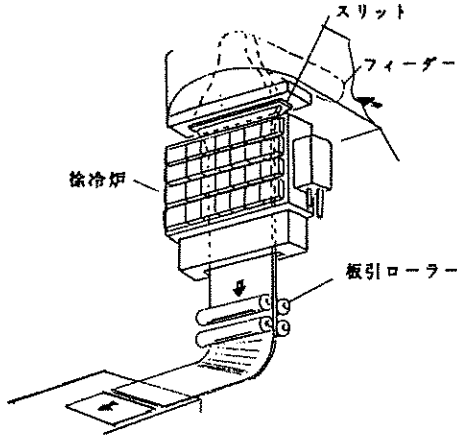


図3 スロットダウン法

で再び融合（フュージョン）され、板に成型する方法である。スロットダウン法と同様に少量生産方式であるが、技術的に非常に難しい面がある。しかし表面品位が火造り面となり、表面品位の優れた板ガラスが得られる。この特徴を生かして液晶ディスプレイ表示基板用板ガラスの製造が行われている。しかし、液相温度の高いガラスを成型すると失透物が出るためガラス組成的に制約がある。

言うべき特徴を利用して、昔からロールに凹凸の模様を付けて型付き板ガラスを製造している。

スロットダウン法（図3）は熔融されたガラスをスリット状のノズルを通して板に成型する方法である。この製造方法は少量生産方式であるが、フロート法ではできない非常に薄い肉厚成型ができるのが特徴である。顕微鏡のプレパレート及び各種カバーガラス、コンデンサー用ガラス、最近では液晶ディスプレイ表示基板用ガラスの製造が行われている。スロットダウン法で成型された板ガラスは表面に縦方向に細かいスジ（マイクロコルゲーション）が生じる欠点がある。この表面欠陥を改善するために開発されたのがフュージョン法である。

フュージョン法（図4）は、熔融されたガラスが樋の両側からオーバーフローし、樋の根元

3. ガラス管成型

ガラス管や中実棒は蛍光灯管等の照明部品、CRT ネック管等電子部品、アンプル管等医薬品、試験管等理化学部品及びその他いろいろ広範囲な用途で使用されている。これらのガラス管及び中実棒の代表的な成型法として、ダンナー法、ダウンドロー法及びアップドロー法が知られている。これらの成型法の概要と最近の状況について、簡単に述べる。

ダンナー法（図5）

最も一般的な方法で、溶解窯より熔融ガラスを導き、ゲートにより流量調整して先端の樋状のトラフから、耐火物製で円筒状のマンドレル上に流下させ巻き付ける。マンドレルはスリーブドライバーと言う回転機に、耐熱金属製の中空軸を芯にして片持ち支持され回転している。

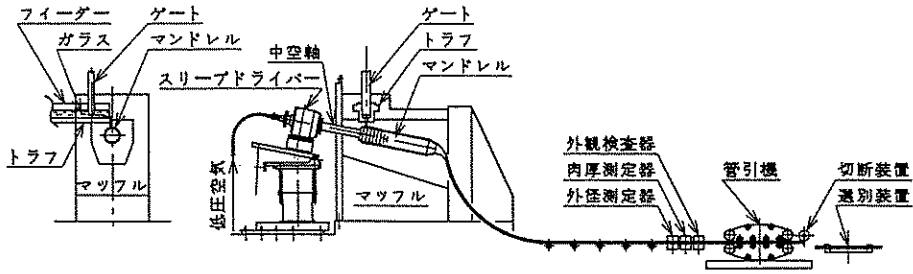


図5 ダンナー法

このマンドレルはマッフルと言う炉内に設置され、中空軸の後端からは成型用の低圧空気が供給されている。ガラスはマンドレル上で帯ひも状に巻き付き、次第に一樣な厚みの層となりマンドレルの先端部へ流れて行く。先端部で成型用の低圧空気が吹き込まれ、管引機の牽引力でマンドレル先端よりガラス管となり引き出される。この方法はガラス管の外径と肉厚を、成型空気圧と管引き速度を変化させことで調整できる為、品種切替が容易にでき多品種の成型が可能である。一般的に、外径2~40 mm、肉厚0.4~3.0 mmの寸法範囲のガラス管が精度よく成型される。

最近の技術では、外径が2 mm以下のダイオード封入管の様な高精度超細管から、外径が100 mmを超えるソーラー集熱管の様な大口径のガラス管が成型されている。又、マンドレルも外径が700 mmを超える超大型のものや、表面を白金でコートしたものが造られる様になり、成型ガラス流量も最大1800 Kg/時を超え

る様になっている。又、最近の計測、制御機器の進歩と共にレーザービーム等を用いて、外径、肉厚及びガラス欠陥を非接触で自動連続的に計測及び検査判定し、選別する装置が開発され、使用されている。そして、成型においても、その計測データを基に、ガラス管外径が自動的に制御調整されるに至っている。なお、ダンナー法にはトラフの代わりに穴から流下させるオリフィス式があり、この方式ではオリフィスの直上で攪拌しながら流下させる、スターリングニードルを採用したものも開発されている。

ダウンドロー法 (図6)

これも古くからの成型法で、溶解窯より溶融ガラスを鉢状のスバウトへ導き、耐火物製で円筒状のチューブにより流量調整し、スバウトの底から耐火物製でリング状のオリフィスの穴と、オリフィスを貫通して設置される、耐火物製又は耐熱鋼製で中空棒状のマンドレルの間を流下させる。マンドレルの上端からマンドレル

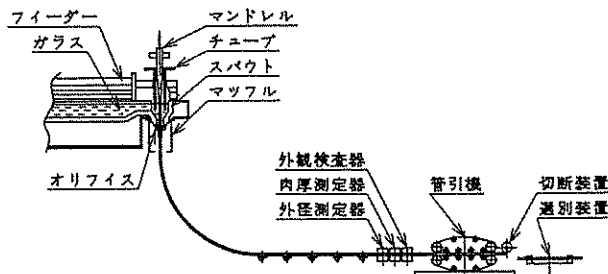


図6 ダウンドロー法

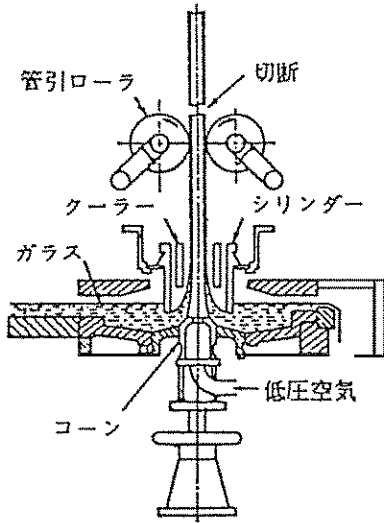


図7 アップドロウ法

を通して先端部のガラスに空気が吹き込まれ、管引機の牽引力でマンドレル先端よりガラス管となり引き出される。この方法は比較的設備が簡単コンパクトで成型ガラス流量も多く流せる利点があるが、成型精度があまり良くなかった為、寸法精度の厳しくないガラス管や棒の生産に用いられてきた。しかし、最近マンドレルとオリフィスに白金が使われ、他の技術の進歩と共に成型寸法精度が向上し、ダンナー法と同じく次第に広く利用されるようになってきた。測定、検査及び制御についても、ダンナーと同じ様な技術が開発され、使用されている。

アップドロウ法 (図7)

この成型法は、生産性が低く外径精度もあまりよくない為、比較的低膨張のガラスで、外径が大きく肉厚が厚いガラス管の成型で一部使用されているのみで、あまり広く使用されていない。

4. ブローイング成型

現在、ブローイング成型によって、電球、タンブラー、フラスコ、ピーカー、魔法瓶用ガラス、テーブルウエア、水銀灯バルブ、等種々の

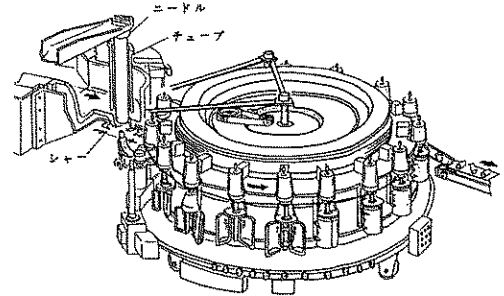


図8 ロータリーブローイングマシン

ガラス製品が製造されている。20世紀に入ると電球バルブの大量需要に応えるため、各国において自動成型機の開発が進んだ。人手によって吹き棒の先端にガラスを巻き取り、その吹き棒をマシンにセットするエンパイアマシンに始まり、成型機自身がタンク炉のガラス生地面にサクションヘッドを入れて、定量の高温ガラス塊=ゴブを吸い取る方式のサクション・ブロー・マシンを経て、ゴブを連続的につくって成型機に供給する機構(フィーダー)を備えたフィーダー・マシンへと進化発展してきた。そのフィーダーマシンの代表的なものの一つに、下記に説明するロータリーブローイングマシン(図8)がある。1960年に、フランスで開発されたペーストモールドマシンの操業経験をもとに多種の製品製造に適したロータリーブローイングマシンが開発され、それ以後世界中で100数10台が稼働している。このマシンは、12~24個のブローヘッドを持ち、広範囲な製品の形状、大きさ、肉厚、ガラス材質に適用出来、多量生産から少量生産にも適し、操作性がよくメンテナンスも容易である。マシンに取り付けられた金型内面にガラスと金型とが直接接触しないように含水膜(ペーストモールド)をつけることにより、ガラスのもつ熱で水蒸気が発生し、これが回し吹きの潤滑膜となり光沢のある成型表面を作る。その製造プロセス(図9)は、次の通りである。

- ① オリフィスから押し出され、シャーカッ

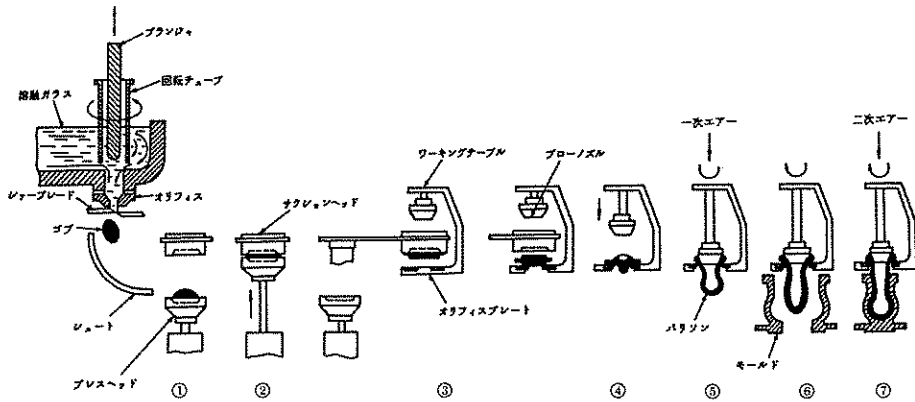


図9 ロータリーマシンのプロセス

- トされたゴブがシュートを通してプレスヘッドに落ちる。
- ② プレスヘッドが上昇し、ゴブをサクションヘッドとの間におしつけて円盤状のゴブにプレス成型する。
 - ③ 円盤ゴブは、サクションヘッドに吸着され、サクションアームによってワーキングテーブルに載せられる。
 - ④ 円盤状ゴブは、オリフィスプレートの穴から自重で垂れ下がり始め、同時にブローノズルが下降する。
 - ⑤ 変形した円盤状ゴブにブローノズルから一次エアが吹き込まれパリソン成型が始まる。
 - ⑥ パリソン成型が完了すると、左右に開いていたモールドが閉じ始める。
 - ⑦ 金型が閉じると、パリソンに二次エア

- が吹き込まれ、ワーキングテーブルが回転しながらバルブが成形される。
- ⑧ バルブ成型が完了すると、金型が左右に開きブローノズルが上昇する。
 - ⑨ 成型されたバルブは、カッターによりモイルから切り離される。

ロータリーマシン以外に代表的な成型機としてリボンマシンやカルセルマシン等がある。リボンマシン（図10）の生産能力は毎時数万個におよび、大量生産性という点ではすべてのブローイングマシンの頂点にある。その工程は、つぎのとおりである。フィーダーから連続的に流れ出るガラスは、1対のローラーでリボン状にされ、水平に走るチェーンの上に載る。片方のローラーには、円周に沿って凹部が設けてあるので、ガラスリボンには一定間隔でガラス円盤が載ったかたちとなっている。これら円盤状

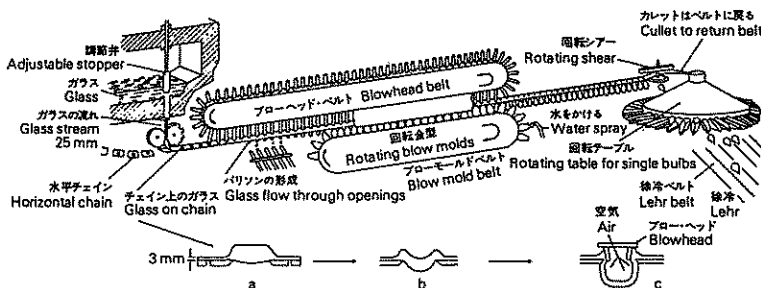


図10 CORNING リボンマシン

肉厚部は、チエインベルトにあげられた孔から自重によって垂れ下り、上方からブローヘッドがおり、チエインと同期して稼働しながら吹き型の中で成型される。カルセルマシンの成型工程は、次のとおりである。フィーダーから供給されるゴブはプレス金型とプレスヘッドでプレスされ、爪金具でしっかりと保持される。プレス金型が外された後、ブローヘッドが下がってきてブローが始まる。この時、パリソンは細いバーナーの焰で外部から熱され回転しながら伸ばされる。次ぎに金型が閉じてバルブが成型され、出来上がったバルブを取り出すために爪金具が開き、プランジャーが降下してバルブをブローパイプから突き放す、というものである。

5. ビンガラス成型

代表的な成型機は I. S. マシン (Individual Section Machine) である。(図11) その成型機構は予備成型される型 (ブランクモールド) と仕上げ成型される型 (ブローモールド) による2段階で成り立っている。(図12) この2段階の型を持つユニットは6~16組で構成されている。各ユニットは独立したセクションとして作動する。シャーでカットされたゴブはディストリビューターとトラフによって各セクションへ分配され、ブランクモールドで予備成型されたガラス (パリソン) はブローモールドへ移

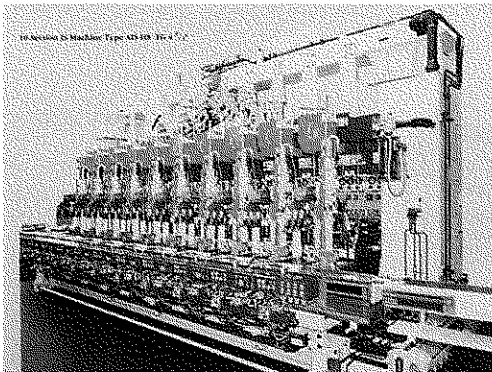


図 11 EMHART 10SECT. IS マシン

される。この時、型は回転せず、開閉動作のみ行う。予備成型はブローとプレスがあり、仕上げ成型と合わせてブローアンドブロー、プレスアンドブローと呼ばれる。基本的にはブローアンドブローは細口ピン、プレスアンドブローは

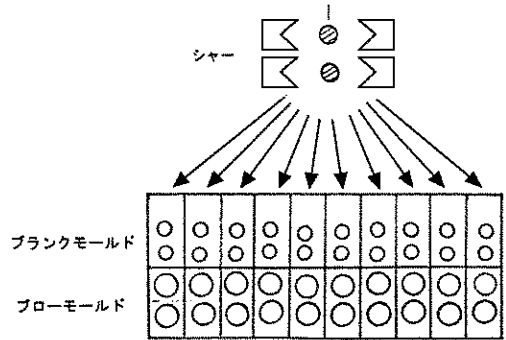


図 12 ダブルゴブ IS マシン

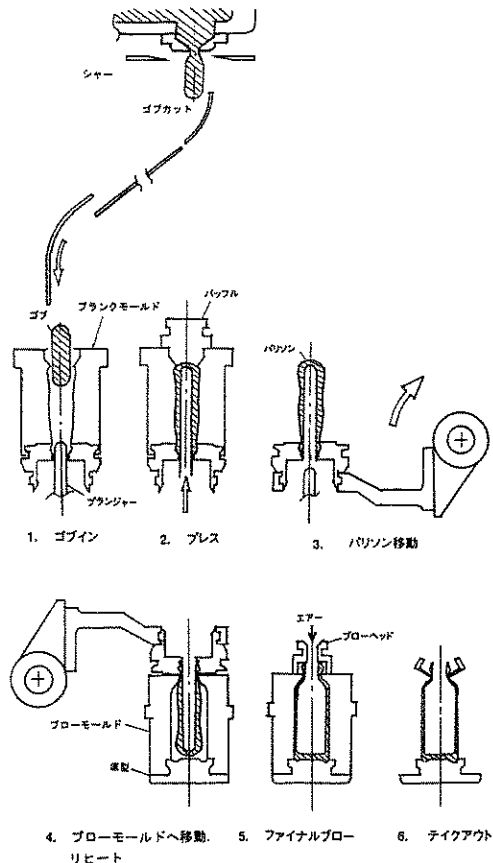


図 13 ナローネックプレスアンドブロー (N.N.P.B.)

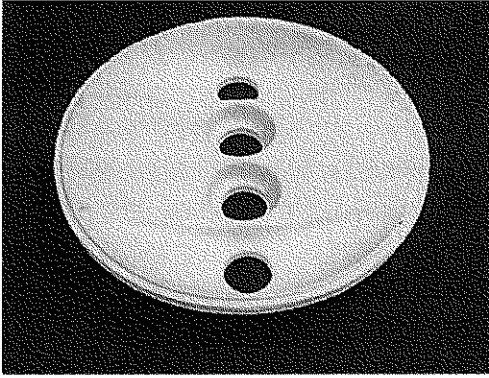


図 14 4ゴブ用オリフィス

太ロビンを成型する。最近、中小型の細ロビンはプレスアンドブロー（図13）で成型され、肉厚の均一化によって軽量化と生産速度アップが進んだ。生産性はビンの重量、形状によるが、シェアーで同時にカットされるゴブ数によってシングル、ダブル、トリプル、クオード（4）のマシンがあり、クオードゴブのマシンでは120gクラスのビンを650 pcs/minの生産できると言われている。コストダウンのためにビンの軽量化は重要課題で、地球環境問題からも運送を含め、省資源、省エネルギーに適する。従来からワンウェイビンでは軽量化が進んでいるが、技術的に難しいリターナルビン（繰り返し使用されるビールビン等、表面処理も必要）にも積極的に進められている。

6. プレス成型

プレス成型品として、ガラスブロック、食器、シールドビーム球、CRT ブラウン管などがある。いずれのプレス品にしても、一般的にプレス機は、図15のように一定のインターバルで間欠回転する円形のテーブルに下型（ボトム）と上型（シェル）を複数個配し、内型（プランジャ）で押圧成型される形式は同じである。要求される成型スピードや設備コストに応じて、テーブル駆動、ラム機構、座数（ヘッド数）は、多岐にわたると考えられるが、基本的

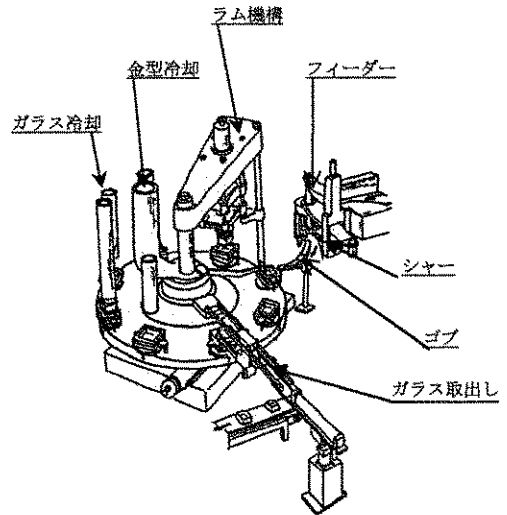


図 15 ガラスブロック用プレス

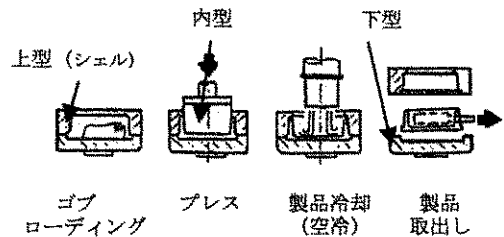


図 16 プレス工程概略

なプレス成型工程は、工程概略の図16に示されるシーケンスである。ブロー成型や遠心鑄造法などと比較してのプレス成型の長所をあげれば、以下ようになる。

1. 肉圧分布や形状の自由度が大きい
2. 高精度の物を後加工なしで成型可能
3. 金型を介しての急冷が可能で生産速度が大きい

特に、CRT ブラウン管のプレス成型はプレス技術の集大成といっても良い。1インチサイズ（8g）から、45インチサイズ（55kg）の範囲で量産技術は確立されている。一般的に、高い寸法精度を得る為には、プレス時間は、長くすることが必要であるが、生産速度が遅くなる。この相容れない問題を解決したのが、ダブルプレスマシン（図17）である。これによって、

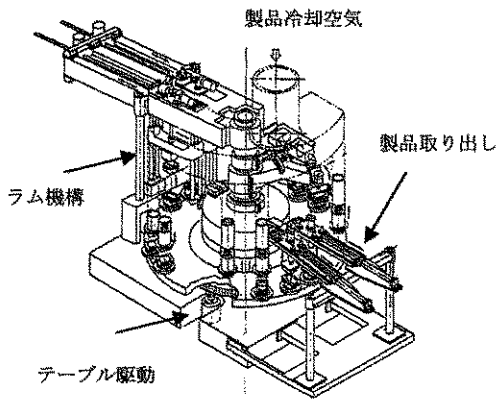


図 17 CRT パネル用ダブルプレス

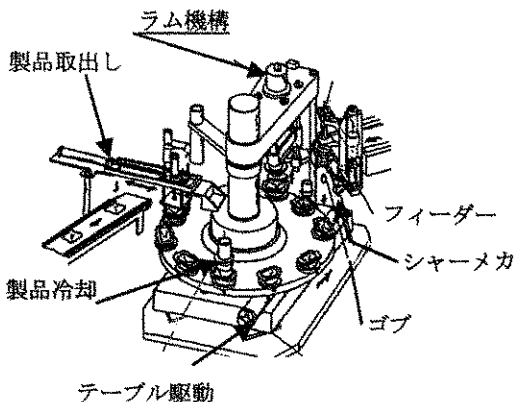


図 18 CRT ファンネル用プレス

品質上最適な生産速度で、生産数を飛躍的に上げることが可能となった。また、異なった2品種を生産することも可能である。安定したゴブ形状や重量の安定性を得る為のコンピューター制御されたゴブフィーダーや現在広く普及しているシーケンサーも草分けの時代に、特に複雑なCRTのプレスマシンの制御の為に導入されている。また、金型に対する要求度合いが大きいという理由で、金型の表面処理や、高温で使用される金型の寸法を金型加工時点で、迅速的に的確に予測するためのデータ処理の技術や測定技術の開発も進み、特にCRTブラウン管の成型に於いては、プレス成型のまま、0.1mm程度の内面の寸法精度を後加工なしに得ら

れるまでになっている。ゴブの温度分布の均一性を得る為に、フォアハースの温度制御や攪拌技術も、ダイレクトにシュートも使わずに金型にローディングするという理由で極めて高いレベルが要求され、最新の電子技術の導入も含めて多くの開発がなされている。ブラウン管のファンネルのプレス成型(図18)は、他のプレス成型品に比べて、形状的に極めて高いプレス圧が必要という意味で、最も高度なプレス技術とノウハウが必要である。

7. ガラス繊維

産業用途としてガラス繊維が工業化されたのは1900年代に入ってからのものである。

ガラス繊維の種類は、製造法・用途・製品形態より長繊維と短繊維と光学繊維に大別される。長繊維は、直径数 μm ~20数 μm の連続したフィラメント形態をもち、プラスチックやセメントの強化材料として用いられている。

長繊維¹⁾の代表的な模式図を図19に示す。熔融されたガラスはプッシングと呼ばれる直径1~2mmの多数のノズルを有する白金の板より引出され、高速の巻き取り機(ワインダー)でパッケージに巻き取られていく。プッシングは、電気加熱で温度制御され、通常ガラスの粘性で 10^3 poise ぐらいの温度に保たれている。また製品の繊維径の変動を抑える為、温度は

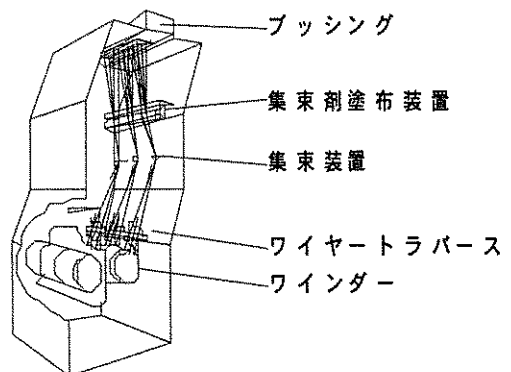


図 19 プッシングワインダー

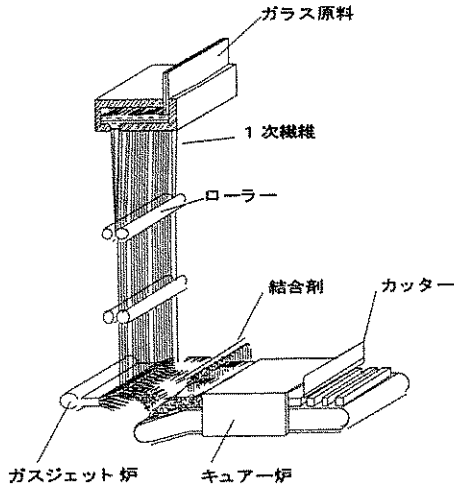


図20 短繊維 火焰法

±0.2℃の精度で管理される。引出されたガラスは急冷された後表面処理剤をロール法で塗付される。近年生産性向上の観点より、プッシングのノズル数は4000以上のものが開発されてきており、またパッケージも多数ヶ取りする技術が標準的なものになってきている。また長繊維の新しい用途として、繊維径のそろったモノフィラメントの連続繊維を切断する事で、液晶ディスプレイを構成する2枚の薄板ガラスの間隔を一定に保つ為のガラスファイバースペース²⁾のような精密材料の製造技術の開発も進んできている。短繊維の多くは直径数 μm 以下で綿状の形態を持ち、建築、設備用材料として用いられる。短繊維の成型³⁾もガラスの溶解・繊維化というプロセスより成立っている。代表的な繊維化の方法に火焰法や遠心法がある。図20に火焰法のプロセスを示す。この方法では熔融ガラスをプッシングより引き出し、これ

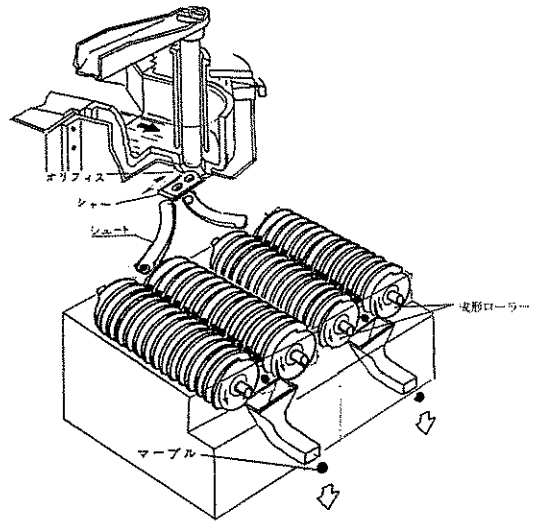


図21 マーブル成型法

を高速の燃焼ガスで吹き飛ばし微細繊維化する。熔融炉より直接ガラス繊維を製造する方法に対して、少量生産や特殊材質では、ムク棒やマーブル状の素材を再熔融して、ガラス繊維を製造するMM（マーブルメルト）法もある。図21にマーブル素材の成型を示す。光学繊維は、CVDなどの方法で高純度のガラスロッドを作り、それを引き延ばし直径100数10 μm のガラスフィラメント形状に成型される。

参考文献

- 1) K. L. Loewenstein "The manufacturing technology of continuous glass fibers" Elsevier (1973).
- 2) 伊藤俊一, 電子材料 (1997年7月別冊).
- 3) 作花済夫ら, 「ガラスハンドブック」朝倉書店 (1975).