

ガラス繊維の紡糸に就て (第 1 報)

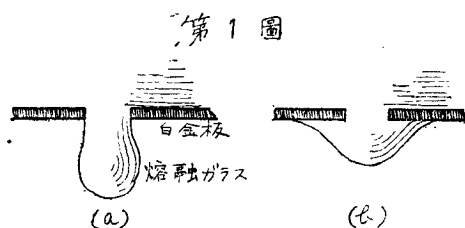
所員工學博士 澤 井 郁 太 郎

講 師 嶺 正 男

1. 緒 言

ガラス繊維を製造する方法の一つとして熔融せるガラスを坩堝の底にあけた小孔から引出し、ガラスの温度と引伸しの速度を加減して細い糸を作る所謂ポット式又はドラム法とでも云ふべき方法が行はれてゐる。此の場合熔融ガラスは 1000° 以上の高温にある爲種々面倒が起る。例へばヴィスコーズ法人絹の紡糸口金の如く薄い白金圓盤に微細な孔を穿つものからガラスを出す爲には餘程温度を上げてガラスの粘度を低下せしめるか又は上から大きな壓力で押し出すかしなければならず此の兩者共材質的に又機械的に大きな困難を伴ふ。巻取速度の點から云つても、人絹が大體 100 m/min, ステープルファイバーが 70 m/min 位であるのに對してガラス繊維では例へばアメリカで工業化されてゐる 1 例では 2000 m/min 以上に及ぶと云はれてゐるので、機械的に困難な點が少くない。又白金板に孔を穿けた如きものから熔融したガラスが出て來る場合にはガラスは白金の面に沿つて擴り所謂クリープ (Creep) の現象が進行し (第 1 圖 a → b) 遂に糸を引く事が出

來なくなる事がある。クリープをする條件に就ては充分な實驗を行つてゐないが、最も根本的な原因としては温度が上がるとガラスの粘度が低下し表面張力の影響に依つてガラスが材質の面

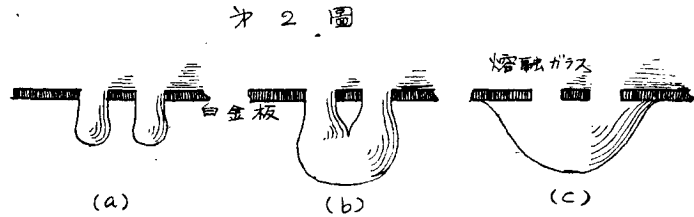


をぬらし易くなる爲であると考へられる。ガラス繊維を經濟的に紡糸する爲にはある程度細い糸を出來るだけ温度を上げずに出來るだけ多數引き出さなければならないが、今假りに糸の太さとガラスの性質を除外して考察するならば紡糸孔の數を増し温度を上げてガラスの粘度を下げガラスを出易くしてやればよいわけであるが實際問題として温度を上げる事はガラス繊維製造費の主要な部分を占める燃料費(著者, 電氣評論 27, 485, 昭 14.)を増加せしめる事になるのみならず紡糸孔, 坩堝の材質等の壽命を縮める事になり生産費を大ならしめる結果となる。

坩堝の底の限られた面積から出來るだけ多數の糸を引き出す爲にはガラスの出て來る孔を小

さくすると共に孔相互の間隔を出来るだけ狭めて孔を多数に穿ける必要がある。然し工業的に使用し得るガラスはその本質上均質なものではないから紡糸中繊維が絶対に切れないと云ふ事を保証し得ないので紡糸孔同志を近付け得る最短距離は紡糸中繊維が切斷した際ガラスが孔から自然落下する時に出来るガラスの滴の大きさによつて制限される。即ち第2圖に示した如く

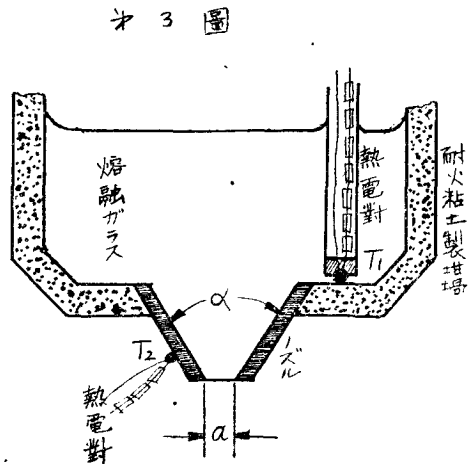
隣り合つた滴同志が附着し合つて大きな玉になつて落ちて来る様では紡糸する事が出来ない。又クリープをすると紡糸孔の



出口附近で滴が形成されるのに要する時間が永くなり単位時間のガラスの流出量はクリープをしない場合に比べて遙に少くなる。要するに紡糸孔の具備すべき条件としてはガラスが出易いと云ふ事と落下する滴が出来るだけ小さい事が望ましい。ノズルの中心に縦に細い棒を挿込んで此を傳つて流れ落ちるガラスを糸に引く型のは上記の条件を相當良く満足し、尙如何なる組成のガラスを使つても 4μ 位迄の細い糸を引き得る長所を具へてゐるのではあるが、坩堝の底に數百個のノズルを植へ付けて大量に紡糸する爲には構造が複雑に過ぎて製作が困難である。依て更に簡單な形のノズルを考へる必要がありノズル1個の場合の条件を一層明にする目的で實驗を行つた。

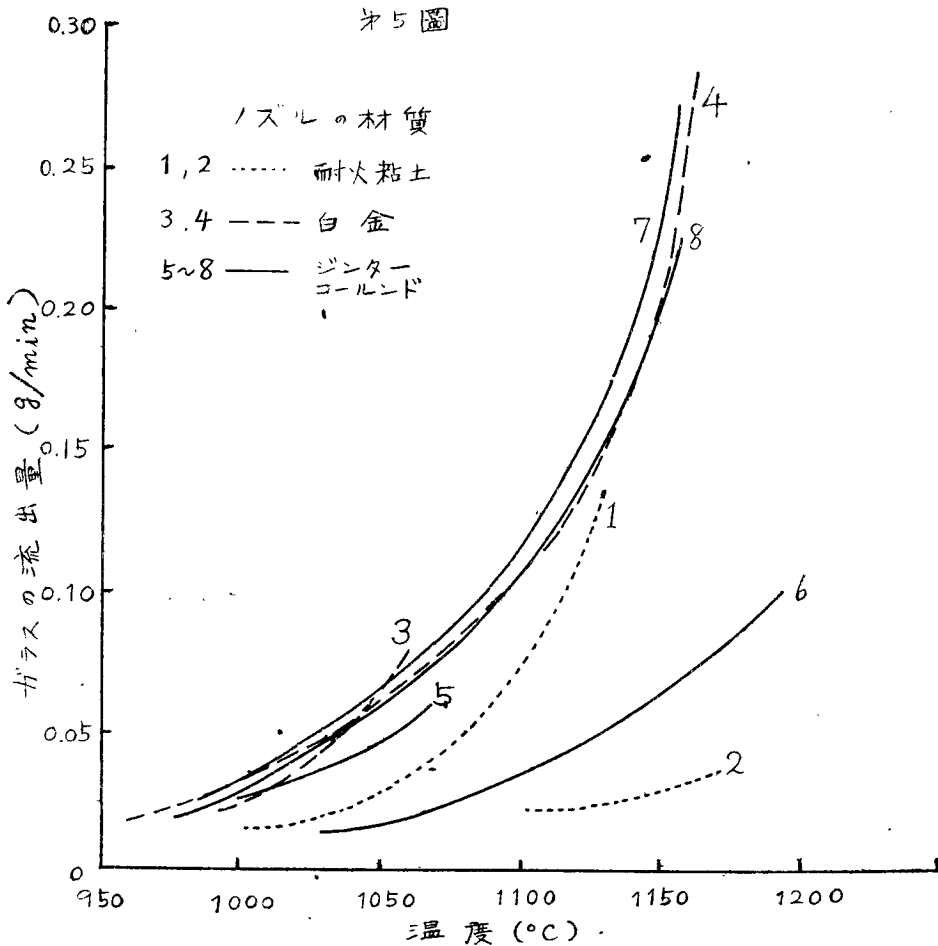
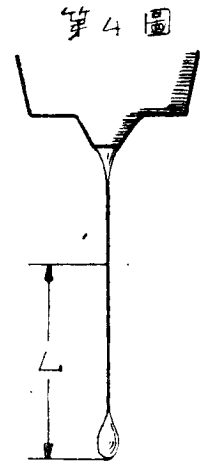
2. 實 験

ガラスが流出し易く故障の少いと考へられる第3圖の如き圓錐型のノズルを用ひ、種々試みた結果圓錐の開きの角 α は 60° 位が好都合である事が判つた。そこで圓錐の開きの角 α 、孔の徑 a ($2.0 \sim 2.5$ mm) のなるべく均一な各種のノズルに就てガラスの出易さを比較してみた。徑 5 cm 位の耐火粘土製坩堝に試料として底から約 5 cm の高さ迄市販の並ガラスを熔融する。温度の測定には坩堝の底の出来るだけノズル上邊に近い部分に T_1 、ノズル外壁で出来るだけガラスの出口に近い部分に T_2 の熱電對を當てて測り条件をなるべく均



一ならしめた。

1) 先づ耐火粘土で坩堝を作りその底に第3圖の如き圓錐形の突出孔を作り温度を變へて熔融ガラスを此の孔から滴下せしめた。ガラスはこの孔から第4圖の如く滴状となり尾を引いて落ちて来る。この尾は相當長く続くのであるが便宜上 $L=5\text{ cm}$ に切つて重さを秤つた。實驗に用ひたガラスで、實驗した温度範圍内に於ては尾はかなり細くなるので、尾をこれ以上長く取つて秤つても 5 cm の長さに切つて秤つても其の違ひは實驗誤差の範圍内に入る。そこで横軸にノズル上邊 T_1 の温度縦軸にガラスの毎分流出量 (g/min) をとつて點綴すれば耐火粘土製のノズルの場合には第5圖曲線1の如くなり温度が上昇するに連れて次第に流出量が増加して来る事が見られる。



2) 然るに此の場合温度が上り過ぎると前記の如くクリープの現象を呈し(第6圖 (a)→(b)) ノズルの出口附近で滴が形成されるのに時間がかかる様になり単位時間流出量は温度が上つてもあまり増さなくなる. この関係は曲線2に示される.

3) 及 4) 次に同型の白金製ノズルを用ひると耐火耐土の場合に比べて遙にガラスが出易く

曲線 3, 4 の如くなりこ

の圖で 1150° 附近まで

温度を上げ過ぎると第 7

圖の如く連続した滴が落

ちて来てガラスが出過ぎ

るため却つて紡糸出来な

い様な條件になる. 白金製ノズルは斯くの如くガラスが出易いが,

然し工業的規模で使用するには甚しく高價なるのみならず高温度の

ガラスには遂次侵蝕されて損失になり又白金は高温で永く使つて

ゐると再結晶が起つて甚しく脆くなる缺點を有するので此に代るべき代用品としてジンターコ

ールンド即ち酸化アルミニウムを 1800° 附近で焼成した耐火物(著者; 電気評論, 27, 580,

昭14)を用ひて實驗を進めてゐる.

5, 6) ジンターコールンドで圓錐ノズルを形成して前記と同様にガラスを流し出してみると此は耐火粘土の場合と似て曲線5に見る如く温度が上るとクリープし易い傾向がある.

7, 8) そこで今假りに第8圖の如きノズルを考へてみると, ノズルの出口の部分の厚み d が

出来るだけ薄く圓筒になつて突出てゐる l の部分が出来るだけ短い事が望ましい. それで石膏型に鑄込んでノズルを製作する場合の便宜をも考慮に入れて種々形の異つたノズルを作つてみた中

で, 第8圖の如き形で d 及 l の小さい型のノズルからガラスを

滴下させてみると曲線 7, 8 の如く白金の場合と非常によく似た

流出量曲線を得る事が出来, 又試料として使つたガラスが糸とな

つて引き得る温度範囲内では繰り返へし實驗してもクリープを起

さない事を確めた.

ささない事を確めた.

ささない事を確めた.

ささない事を確めた.

ささない事を確めた.

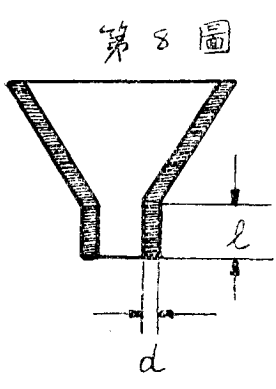
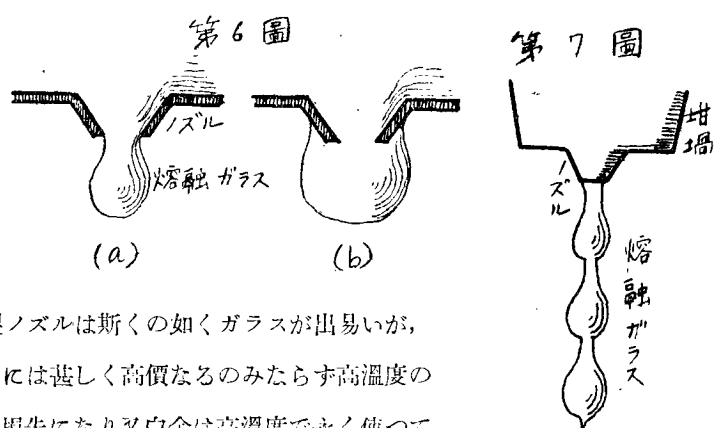
ささない事を確めた.

ささない事を確めた.

ささない事を確めた.

ささない事を確めた.

ささない事を確めた.



B. 捲取實驗

そこで前記の型のジンターコールンド製ノズル35個を耐火粘土製坩堝の底部に取り付けてガラスを熔し坩堝底部のガラスの温度(第3圖 T_1)を $1100^\circ \pm 5^\circ$ に保つて捲取速度を種々變

化せしめて紡糸の条件を調べてみた。著者等の用ひてゐる坩堝の底面積には前記の型のノズルならば150個餘り取付けて故障なく紡糸する事が出来るのであるが、現在は紡糸条件の研究中である爲150本一時に引いたのでは個々のノズルに就ての条件を観察する事が出来ないので、坩堝底面の代表的な位置に夫々4~5個のノズルを代表する1個のノズルを埋めて系統的な観察に便ならしめてゐる。

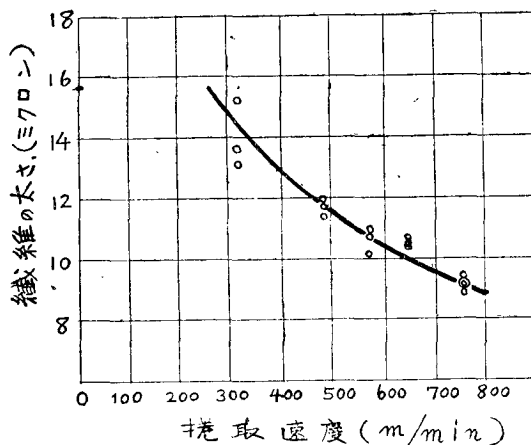
a) 捲取速度と繊維の太さ

一定時間回轉ドラムに捲取つた束の中から出来るだけ偏らない様に糸を選び出し顕微鏡で太さを讀んで平均した。捲取速度(m/min)と糸の平均直径(μ)との關係は第9圖の如くなり捲取速度が約300 m/minから800 m/minに増加する間に糸の直径は約14 μ から9 μ に減少する。熔融せるガラスから糸を引く事の出来る速度には一定の限界があり實際に糸を引く場合の装置の上から言つて、ある程度以上捲取速度がく早なり糸が細くなると機械的に糸の切れる確率が急激に増大して糸を引く事が出来なくなる。

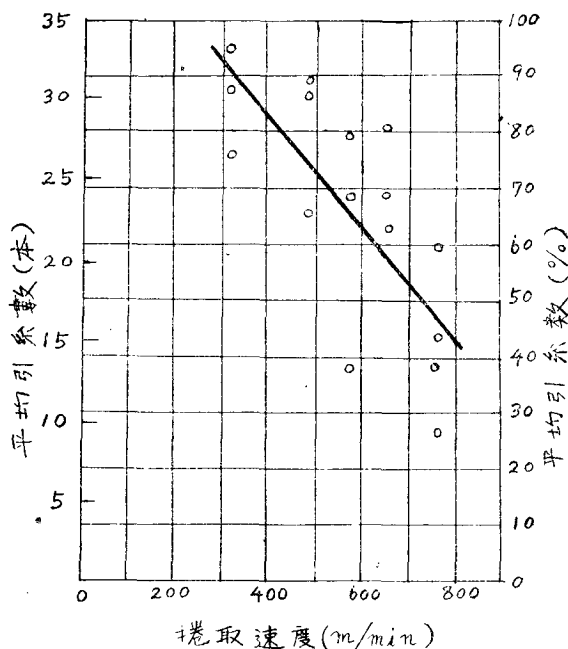
b) 捲取速度と平均引糸數

比較的狭い面積から順調に糸を引く事が出来たとしても經濟的に可能性のある加熱方法を以てこれより廣い底面積を均一に加熱する事は決して容易な事ではない。その爲に工業的に紡糸する場合にはノズルにある程度の温度差が生ずる事を避け難い。又全部のノズルを嚴密に均一な大きさに製作する事は困難であり、ガラス自體が決して均質なものではなくその他装置の構造上避け難

第9圖



第10圖

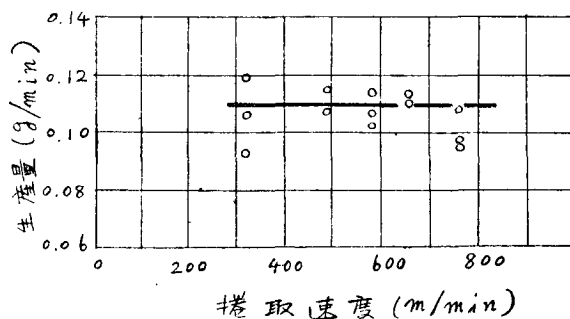


い機械的事故等の爲ある程度糸が切れる事を免れない。第10圖に捲取速度と捲取られてゐる糸の全ノズル數に對する割合(%)を點綴してみると、場合に應じて相當偏差は大きい、捲取速度を早くする程機械的に糸が切れる率が多くなり平均引糸數が減少して來る事は言ひ得る。

c) 纖維の單位時間生産量

平均ノズル1個から單位時間に引き出されるガラスの量を調べて見ると第11圖の如くなり捲取速度が約 300~800 m/min に變化してもガラスの引き出されてゐる量は凡そ 0.1 g/min であまり變化しない。温度の同一な條件で一つの

第 1 1 圖



第 1 表

捲取速度	平均直徑	引糸時間	平均引糸數	ガラス纖維束の重量		比 較	毎分生産量	纖維直徑
U	D	t	n	實測値	計算値 ¹⁾	W/W ₀	$\frac{W}{n \cdot t}$	計算値 ²⁾
m/min	μ	min	本	g	g		g/min	μ
312	13.1	30.0	30.6	85	93.0	0.91	0.093	12.6
	15.2	20.0	33.3	79	90.3	0.88	0.113	14.4
	13.6	20.0	26.6	56	58.0	0.97	0.101	13.5
480	11.4	20.0	30.3	66	71.0	0.93	0.109	11.0
	11.9	20.0	31.3	72	80.0	0.90	0.115	11.3
	11.7	20.0	23.0	51	56.8	0.90	0.108	11.1
570	10.7	20.0	24.0	49	59.1	0.83	0.102	9.8
	10.8	20.0	27.7	63	69.7	0.91	0.114	10.3
	10.1	20.0	14.2	30	31.0	0.97	0.106	9.9
648	10.7	20.0	27.0	61	75.8	0.81	0.113	9.6
	10.5	20.0	24.5	53	65.0	0.82	0.110	9.5
	10.5	6.8	28.2	22	26.0	0.85	0.114	9.7
756	9.1	20.0	20.8	45	49.2	0.92	0.108	8.3
	9.4	10.1	15.2	15	19.2	0.78	0.098	8.3
	9.1	11.1	15.3	14	17.4	0.80	0.096	8.2

$$1) \quad W_0 = n \cdot \frac{D^2 \pi}{4} \cdot 10^{-8} \cdot U \cdot 100 \cdot \rho \cdot t$$

$$2) \quad W = n \cdot \frac{D^2 \pi}{4} \cdot 10^{-8} \cdot U \cdot 100 \cdot \rho \cdot t$$

(但 $\rho = 2.4$)

ノズルからガラスの滴が自重に依て落ちて来る場合を觀察してみると滴1個の重さは平均0.35g(80個平均)で此が一つのノズルから平均6.8分(5.8~3.0分)置きに出て来る。即ち自重でガラスが出る場合にはノズル1個から毎分0.055g(0.047~0.060g)落ちてゐる割合になり捲き取つてゐる場合には此の約2倍のガラスが引き出されてゐる事が判る。

又ガラスの比重を $\rho=2.4$ と假定し太さ D (μ) の糸を捲取速度 U (m/min) で平均 n 本、 t 分間捲取つたとするとこのガラス繊維の束の重量 W_0 は次式で計算出来る。

$$W_0 = n \cdot \frac{D^2 \pi}{4} \cdot 10^{-8} \cdot U \cdot 100 \cdot \rho \cdot t$$

此の實驗に於ては計算した重量 W_0 は實測した製産量 W より全て大きく $\frac{W}{W_0}$ の比を取つてみると大體之が 0.80~0.95 の値をとるがあまり大きな違ひは無いので、此の事から一定時間捲き取つたガラス繊維の束の重さ W から糸の太さ D_0 を計算で求めても顯微鏡で實測した繊維の太さ D と餘り違はない値が得られる事を意味する。

細いガラス繊維を紡糸出来る條件は甚だ複雑であるため以上の如き數少い實驗から多くの結論を引き出す事は無理であり、著者等の行つた實驗條件の下では以上の如き結果が得られたと云ふ事が言へるに過ぎない。それでノズルの形を更に改良し限られた坩堝の底面積に出来るだけ多くのノズルを設け細い糸を出来るだけ多數能率よく紡糸出来る如き條件を見つける爲に實驗を續けてゐる。