

フロート法

セントラル硝子株式会社 松阪工場硝子製造部

黒川 明

Float Process

Akira Kurokawa

Glas Production Department Matsusaka Plant, Central Glass Co. Ltd.

1959年に英国の Pilkington Brothers 社により工業化された Float 法は、研磨せずに磨板と同程度の平行度で平滑な面を成型出来る硝子業界に於ける今世紀最大の画期的な方法であり、瞬く間に世界中にライセンスされ現在では従来の板硝子の製法を駆逐した。

1. 板硝子製造方法の変遷^{1),2),3)}

板硝子の製造方法は普通板硝子と磨板硝子の二つの方法がある。

又、型板硝子製造法として圧延法があるがここでは省略する。

普通板硝子は熔融された硝子を引き延ばし板硝子状にする方法であり、工業的な方法としてクラウン法、円筒法、引上法の3つのプロセスが用いられて来た。

19世紀頃までに用いられていたクラウン法、円筒法は各々バッチ処理的に硝子を円盤状にした後で矩形、円筒状の硝子を切り開いた後に矩形にする方法であった。

一方、20世紀初頭(1910~1930年頃)に連続引き上げ方式である Fourcault 法(ベルギー)、Pittsburg Pennvernon 法(米国)、Colburn 法(米国)が相次いで工業化され生産性、品質共に飛躍的に向上した。

図-1~図-3に各引上設備の概略図を示すが、

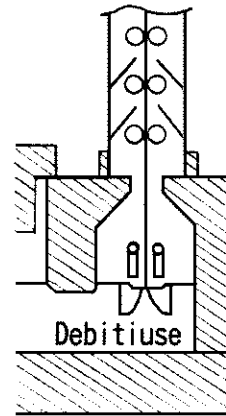


図-1
フルコール法

これら3つの引上法の意義は引上られる硝子を如何に保持するかであり、Fourcault 法では耐火物(Debitiuse)の素地湧出口構造が、Pennvernon 法では引出口の素地の極表面近くにセットされた耐火物(Drawbar)の突起構造が、Colburn 法では Knurlroll がその役割を果たした。

磨板硝子は生産性、品質共に飛躍的に向上させた引上法の平滑度の悪さを補うものとして高

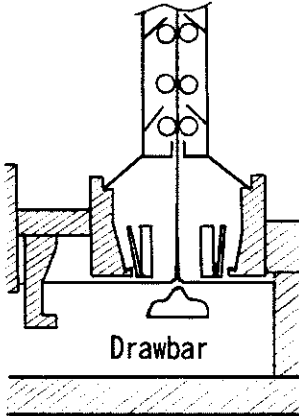


図-2
ペンバーノン法

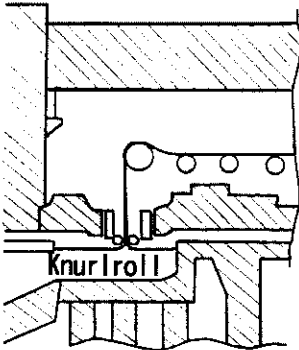


図-3
コルバーノン法

級鏡、ショーウィンドウ、高級鏡、自動車用等に使用されていたが Float 製法が下記の点で優位であった為、現在では引上法は限られた分野、磨板硝子は網、線材入硝子として使用されているのみである。

- ① 磨き工程無しで、磨板硝子同等の優れた平滑度を持った品質を得られる
- ② 生産性が従来の製法と比較し格段に優れている
- ③ 従来の引上法と比較して硝子の徐冷が比較的簡単である
- ④ 長期に亘る連続生産が可能である
- ⑤ 生産出来る板厚の幅が広い (0.4~25

m/m 程度の板厚の硝子が生産可能)

- ⑥ 他の製法に比較すると、板厚・板幅の調整範囲が広く、比較的容易に変更出来る

2. Float 法^{3),4),5)}

1) Float 法の概要

図-4 に Float 硝子製造工程を示すが、溶解、脱泡、均質化された硝子はツィールと呼ばれる堰により流量制御され、熔融錫を保持したティンバスに供給される。

ティンバスは耐火物で内張りされた錫浴であり、ヒーター、クーラー等により熔融硝子の温度制御をし、回転ロール (トップロール)、或いは厚板製造時は、カーボン製のガイト (カーボンフェンダー) 等で硝子リボンの板厚、板幅を調整し、ほぼ固化された状態でバスを出る。

バスを出た硝子リボンは徐冷炉で歪みを取られ、洗浄・乾燥検査・切断・梱包工程を経て出荷される。

2) Float 法の要素技術

Float 法は大別すると①ティンバス内の熔融金属の選定とその化学的な挙動 (熔融金属錫の酸化、汚染防止)、②硝子流れの制御、③硝子リボン成形 (板厚、板幅の調整) の要素技術より成り立っている。

(1) ティンバス内の熔融金属の選定とその化学的な挙動 (熔融金属錫の酸化、汚染防止) ソーダ石灰硝子の製造条件を前提としてティンバスに錫が用いられた背景は以下の様に言われている。

①成形温度範囲で液体であること

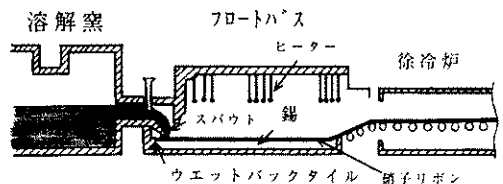


図-4 フロート製造工程概要

- ②硝子との反応性が少ないこと
- ③硝子以上に充分密度が高いこと
- ④資源的に入手し易く、高価で無いこと
- ⑤成形温度範囲で蒸気圧が低いこと

然し、斯様な理由で選定された錫も酸素と反応して容易に酸化物を形成する為、不活性雰囲気 (N_2+H_2 濃度 $\approx 4\sim 10\%$) で外気と遮断している。

斯様な対策を施しても、錫、熔融硝子、雰囲気、錫中に含まれる微量の酸素、水、硫黄と水素の間で化学反応を起こし、フロート法特有の欠陥を発生する事がある。

これらの反応のメカニズムを解明し欠陥の発生を防止する事が必要であり、これを bath chemistry と呼んでいるがこの概要を表-1 に記す。

(2) 硝子流れの制御

初期実験段階ではフロートバスへの硝子の供給は水冷ローラーにより行ったが、水冷ローラー上へ錫、及び錫の化合物が析出し、これが硝子に転写される等の問題が発生した。

この方法に代わる物として、耐火物製のスパウトにより直接熔融錫上に供給する方式への改善がされた。

この方式は上記の欠陥対策にはなったものの、スパウトを錫中に浸漬する方式であった為、耐火物/硝子/錫間で耐火物の侵食が加速された。

その結果、スパウトと接触している個所で化

学的(光学的)に異質な硝子素地が形成され、最終製品に光学的な歪みを生じる新たな問題点を引き起こした。

斯様な欠点を回避する為、種々の改善がされ、現在のスパウト周辺の構造が決定されたが、改善の基本は如何にして耐火物等で汚染された異質な硝子素地を硝子リボンのエッジ部に流すかであった。

(3) 硝子リボン成形(板厚, 板幅の調整)

Float 法は基本的には錫～硝子～雰囲気間に働く表面張力、及び熔融硝子と熔融錫の密度との関係により平衡板厚が働く事を利用した方法であり、ソーダ石灰硝子の場合 $1000^{\circ}C$ での平衡板厚は次式より約 7 m/m となる。

$$T^2 = 2(S_g + S_{tg} - S_t)\rho_t / g\rho_g(\rho_t - \rho_g)$$

① 薄板製板方法

平衡板厚製板法では、板厚を薄くしようとして流れ方向の張力を大きくするとリボン幅が極端に狭くなる現象が見られる。

従って、板幅を含めた実用的な板厚として得られるのは $5\sim 6\text{ m/m}$ である。

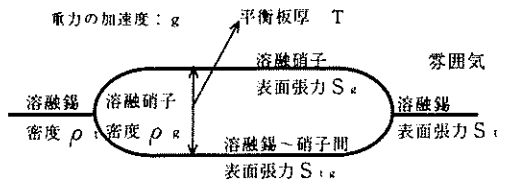


図-熔融錫に浮いた硝子の横断面

表-1 酸素、硫黄による錫の汚染と硝子に現れる欠陥について

酸素による錫の汚染と発生する欠陥	硫黄による錫の汚染と発生する欠陥
<ul style="list-style-type: none"> ○酸化錫はドロス (Dross) と呼ばれ硝子に付着してバス外へ持ち出されて欠陥となるか、或いは SnO として硝子に溶解するか、SnO_2 として揮発するか、 ○硝子中に溶け込んだ SnO は熱処理過程で SnO_2 となり体積膨脹によりブルーム(Bloom) と呼ばれる微小な表面凹凸を引き起こす 	<ul style="list-style-type: none"> ○硫黄による汚染サイクルは酸素とよく似ている ○硫化錫の蒸気圧は高く蒸発し易い為、温度の低い所に析出し、バスに供給された水素により金属錫に還元され硝子表面に欠陥を発生させる (Top Speck)

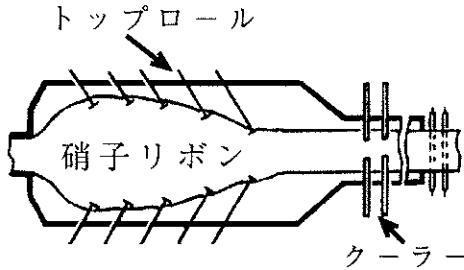


図-5 薄板製板方法

その為、薄板でもリボン幅を確保出来る様に補助的なロールを使用する方法が開発された。

本法は、硝子が平衡板厚になった付近で、歯 (Knurl) 付きの回転ロール (Top Roll) をバスサイドより斜めにセットし歯をリボンエッジに押し当てる事により流れ方向の張力により縮もうとするリボン幅を維持する方法である。

本法は A.D.S (assisted direct stretch) 法と呼ばれており、Top Roll をセットする概略の温度範囲はソーダ石灰硝子では 950~820°C 程度であり、この温度範囲以上であると広げたりリボン幅が元に戻り、逆にこの温度範囲以下であるとリボンに無理な力がかかり光学的な歪みを生じる事となる。

図-5 に薄板製板方法を模式的に示す。

② 厚板製板方法

8 m/m 以上の厚板を生産する方法の一つとしてバス両サイドにバリアーを設けてリボンの

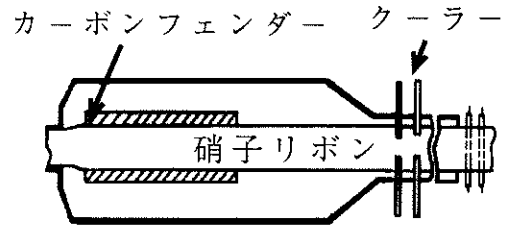


図-6 厚板製板方法

広がりを防ぐ方法があり、この為に開発された方法がカーボンフェンダー (carbon fender) 法と呼ばれており、フェンダーは硝子に濡れない様にカーボンを用いている。

又、8~15 m/m 程度の板厚の生産を行う為に前記した A.D.S 法の Top Roll のセット向きを逆にした方法 (R.A.D.S: reverse assisted direct stretch) がある。図-6 に厚板製板方法を模式的に示す。

参考文献

- 1) ガラス工学, 共立出版, 成瀬省 著
- 2) ガラス工学ハンドブック, 朝倉書店, 森谷太郎 他
- 3) The Float Glass Process, Proc. Roy. Soc. Lond., L.A.B. Pilkington
- 4) ガラス工学ハンドブック, 朝倉書店, 山根正之 他
- 5) ガラスの辞典, 朝倉書店, 作花済夫 他