

日本の板ガラス技術の歴史

—日本化学会化学遺産認定—

日本化学会フェロー 田島慶三

1. はじめに

日本化学会は、2010年度化学遺産「日本の板ガラス工業の発祥を示す資料」として、旭硝子(株)京浜工場及び関西工場所蔵の手吹きガラス円筒と吹き棹、同社研修センター所蔵のラバース式機械吹きガラス円筒を認定した。本稿では、この化学遺産を中心に日本の板ガラス技術の歴史を説明する。



図1 手吹きガラス円筒と吹き棹
(左:旭硝子(株)京浜工場, 右:旭硝子(株)関西工場)



図2 ラバース式機械吹きガラス円筒
(旭硝子(株)研修センター)

2. ガラスの化学と製造・加工

ガラスは非晶質の固溶体である。現在、最も普通に使われているソーダガラスは、ケイ砂、ソーダ灰、石灰の3成分を主体としている。ガラスは、透明で着色可能、硬く、腐食しにくく、耐候性が大きい長所を持つ。半面、重く、割れやすく、加工が難しいという欠点もある。

中東では、紀元前1000年以上前からガラスが知られ、食器として使われた。ローマ時代の紀元前100～50年に板ガラスが作られるようになり、外光を取り入れる貴重な窓材料として、建築に使われるようになった。現在でも板ガラスは、量的にも、金額面でも、ガラス需要の最大の分野である。

板ガラス製造技術としては、熔融したガラスを平面上に流して固まらせる鑄込み法が最初に発明された。しかしこの製法による板ガラスは、小面積の厚板で、しかも表面がきれいでなかった。同じ頃に、熔融したガラスを中空の棹の先に付けて、空気を吹き込んでビンや食器をつくる吹き棹技法が発明された。この技法を使って、ガラス円筒をつくり、いったん冷やして縦に切った後、再度加熱して開き、板ガラスをつくる製法が開発された。この製法は、鑄込み法に比べると、薄く、表面のきれいな板が得られた。4世紀には吹き棹でガラス球をつくり、これの一端を切り開き、加熱しながら回転させて遠心力によってガラス円盤をつくるクラウン法が開発された。クラウン法は、表面を他と接触させずに製造できるので、非常にきれいな表面を持った板ガラスを製造できた。中世では、円筒法とクラウン法の板ガラスが競合したが、いずれも窓の面積を覆うほどの大きな板をつくることができなかつたので、ステンドグラスのように金属枠を使って小面積の板ガラスを組み合わせて窓がつけられた。

14世紀頃にスズ amalgam法による鏡が作られるようになると、板ガラス大型化への要求が高まった。円筒法は、遠心力を使って円筒を縦方向に伸ばすことによって大型化に対応した。一方、クラウン法は直径80cmくらいの円盤までつくることが

できたが、結局大型化競争に負けて消えていった。

一方、鑄込み法はいったん大面積の厚板をつくったあと、磨いて表面をきれいにする磨き板ガラス技術が開発され、17世紀以後は大型円筒法と競合するようになった。1860年代には、鉄鋼技術で有名なシーメンス兄弟が、新しいガラス熔融炉の開発に取り組み、蓄熱式タンク炉の技術革新を、ガラス製造技術にもたらした。

3. 日本の板ガラス技術への挑戦と失敗

東大寺正倉院宝物にあるようにガラス食器は、日本でも奈良時代から知られていた。江戸時代には喜多川歌麿の「ビードロを吹く女」に見られるように、もはやガラスは貴重品ではなく、身近な材料になっていた。しかし、欧州のように板ガラスが重要な建築材料となることは、日本では自発的には起らなかった。

日本建築で外光を取り入れる方法は、長らく絵巻物に見られる蔀戸であった。しかし、この方法は、外気も入ってくるので防寒にはならなかった。その意味では平安時代末期と言われる障子の発明は画期的であり、以後数百年も使われた。江戸末期に開国して西洋建築が知られるようになると、ガラス窓の良さが急速に認識され、日本建築にも積極的に取り入れられるようになった。

西洋のガラス製造技術は、まだ鎖国中であった19世紀前期には早くも伝わり、鹿児島や佐賀では、ガラス容器の小規模な製造が行われるようになった。島津藩がつくった集成館では、鑄込み法による板ガラスの試作も行われたという。

明治になると、1873(明治6)年には東京・品川に興業社が設立され、手吹き円筒法による板ガラスの製造が試みられた。しかし数年で立ち行かなくなり、1876年には、工場が工部省に移管され、国営の品川硝子製造所となった。しかし、板ガラスの生産は依然として成功せず、ビン、食器類の生産に止まった。その一方、板ガラスの需要が高まり、板ガラス輸入量が増加していったことから、その後、何社かが、西欧技術を取り入れて板ガラスの生産に挑戦したが、なかなか成功しなかつた。ガラス円筒を加熱しながら何度も吹き、大型にしていくために、身体の小さな日本人では不可能であると言われた。

なお、品川硝子製造所は、1888年に払い下げられ、

さらに後に三共売却されて、レンガ造りの建物は長らく製薬工場として使われた。この建物は、現在では、明治村に移されて保存されている。しかし、すでに三共の製薬工場になった時点で内部がまったく変わったので、明治時代のガラス製造を偲ぶものは残っていない。



図3 旧品川硝子製造所建屋(博物館明治村)

4. 旭硝子の成功

旭硝子(株)の創始者である岩崎俊弥(1881-1930)は、三菱財閥2代目当主、岩崎弥之助の次男として生まれた。イギリス留学から帰国後、日本に板ガラス工業を興すことを決意した。1907年に旭硝子を設立し、当時板ガラス先進国であったベルギーの手吹き円筒法技術を導入し、1909年に尼崎工場で板ガラスの生産を開始した。日本では初めての板ガラス工業生産の成功であった。工具には身体の高大な元相模取りも採用したという面白いエピソードも残っている。しかし輸入品に市場を押しさえられている状況だったので、当時の新聞記事(神戸又新新聞1912年9月29日)によれば、1912年時点で累積損失が資本の過半になるほどの苦境に陥った。

しかし、そのような状況下でも、アメリカでラバース式機械吹き円筒法が開発されると、すぐにこの技術を導入し、1913年11月には北九州市戸畑で牧山工場の建設に着手した。ところが1914年7月に第1次世界大戦が勃発したために、欧州からの板ガラス輸入が突然途絶して、ガラスの価格が暴騰した。ここで旭硝子は苦境を脱することができた。1914年には機械吹き円筒法の牧山工場も完成した。

第1次世界大戦後、欧州の板ガラス工業が再建されるが、欧州品の輸入再開によって日本の板ガラス工業がつぶされることは、もはや起らなかった。江戸末期以来50年以上にわたる失敗の中で、旭硝子が成功した原因は、第1次世界大戦による輸入途絶という僥倖だけではない。第1に三菱財閥の資本金、

第2にシーメンス連続溶融タンク炉技術の導入と明治後半の日本における鉄鋼業の発足に象徴される日本の重工業技術力の向上、第3にあとで述べる20世紀の板ガラス工業の大きな技術革新の波にいち早く乗ったことを忘れてはならない。

5. 各所に残る円筒法板ガラス

明治時代には、多くの洋館が建てられ、また和式建築にもガラス窓、ガラス戸が取り入れられた。レンガ造りや洒落た木造の建築本体に注意が向いてしまいがちであるが、窓ガラスのゆがみ具合に注意してみると、意外と現在でも日本の各所で円筒法板ガラスを見ることができる。

群馬県富岡製糸場は、1872年に明治政府が設置した模範機械製糸工場である。作業場は、大面積のガラス窓による採光を積極的に取り入れた。このガラスは、すべて輸入の手吹き円筒法板ガラスである。

また、日光にある田母沢御用邸は、大正天皇が使われた避暑用別荘であるが、現在は公開されている。江戸時代に江戸に建てられた建物を日光に移築し、明治、大正期に何回も増築・改築されて現在に至っている。もとは純和式の建物であったが、明治・大正期の改築によってガラス戸が導入された。このため、増・改築の時代によって、輸入手吹き円筒法板ガラスと旭硝子製国産手吹き円筒法板ガラスを比較してみることができる。特に大正天皇謁見の間の庭側ガラス戸は、国産板ガラスであり、当時の製造技術を偲ぶことができる。

一方、明治維新後に政府高官となった旧長州藩士たちが、旧長州藩主のため1916年に防府市に建てた毛利邸のガラス戸は、幅の広さ、縦長の空気、ゆがみの少なさからラバース式機械吹き円筒法による板ガラスと推定される。

6. 板ガラスの20世紀技術革新

旭硝子が、手吹き円筒法板ガラスの成功に酔うことなく、すぐに続いてラバース式機械吹き円筒法板ガラス工場を建設したことは、欧州板ガラス工業の長い歴史の上から見ると、非常に重要なことであった。すでに1850年にイギリスでロール法磨き板ガラス技術が開発され、板ガラス製造の機械化が部分的に始まっていた。ローマ時代以来の歴史を持つ板ガラス製造に機械が導入されるのは、これが初めて

であった。機械化の波は、20世紀に入ると磨き工程だけでなく、板をつくる工程にも起り、一気に加速された。その端緒が、アメリカの手吹きガラス工であったラバースによって1905年に開発された機械吹き円筒法であった。これは、熔融したガラス表面にやや漏斗状の円盤を押し付け、その中に機械で空気を吹き込みながら上部に引上げることによって、直径1m、長さ10m程度の円筒をつくる技術であった。この円筒を冷却後、縦に切り、再加熱して開いて板にする点は、従来の手吹き円筒法と同じである。しかし、直径30cm、長さ2m程度の円筒までしかつくれなかった手吹き円筒法に比べて、機械吹き円筒法は、はるかに大きな板ガラスをつくるできるようになった。

続いて熔融したガラスから直接に板ガラスを連続的に引上げる技術が、1910年代のアメリカで続けざまに開発された。熔融したガラスから板ガラスを引上げると、まだ固まらないガラス板が収縮するので連続引上法の工業化は難しかった。これを乗り越える技法によって表1に示すいくつかの技術が生まれた。1916年にコルバーン引上法が開発されると、その2年後の1918年には日本で2番目に成功した板ガラス会社である日本板硝子が、この技術を導入して板ガラスの生産を開始した。先発の旭硝子も、古い製法を捨ててフルコール法などの引上法に切り替えていった。このように、日本の板ガラス会社は、20世紀の板ガラス技術革新に遅れることなく、貪欲に新技術を導入して競争力を高めていった。1959年には、イギリスのピルキントン社で、世紀の大発明と言われるフロート法が開発された。フロート法は、熔融したガラスを溶融したスズの上に流し、徐々に固まらせて厚板、幅広の板ガラスを連続的に製造する技術であった。鑄込法の系譜に属する技術と言えるが、通常の窓ガラス用途にはもはや磨き工程が要らないほどにきれいな表面の板ガラスを製造できる技術であった。この技術も1965年には日本板硝子が、その翌年には旭硝子が導入した。

7. 世界トップに躍り出た日本の板ガラス会社

板ガラスの用途は、もはや鏡と建築だけではない。大きな用途として自動車と液晶テレビに代表されるフラットパネルディスプレイ(FPD)がある。さらに

外な展開になっている。

世界のトップに立った日本の板ガラス会社が、今後の板ガラス技術革新を踏まえて、どのような戦略的対応を取るのか注目される。

参考文献

- 旭硝子社史 旭硝子 (1967)(2007)(2008)
- ガラスの技術史 黒川明 アグネ技術センター(2005)
- 技術の系統化調査報告書(板ガラス製造技術) 森哲 国立科学博物館(2007)

表1 20世紀における板ガラスの技術革新

開発年	開発国	名称	日本導入
1905年	アメリカ	ラバース式機械吹き円筒法	1914年
1913年	アメリカ	フルコール引上法	1928年
1916年	アメリカ	コルバーン引上法	1918年
1925年	アメリカ	PPG ペンパノン引上法	1931年
1920年代	ベルギー	ビシエール法ローラー成形	
1920年代	アメリカイギリス	フォード法ローラー連続成形	
1959年	イギリス	フロート法	1965年
1967年	アメリカ	フュージョン法	
1998年	日本	薄板フロート法	

最近では太陽電池保護用途も拡大している。このため、従来の厚板だけでなく、超薄板需要も拡大しており、表1に示すように超薄板製造技術が最近の技術革新の主流となっている。

20世紀の板ガラス工業は、資本集約的な重化学工業であり、世界でも、日本でも製造業者は、少数に限られた。イギリスのピルキントン社、フランスのサンゴバン社、アメリカのPPG(ピッツバーグ・プレート・ガラス)社の3社が世界のトップ3として、長らく君臨してきた。日本では、旭硝子、日本板硝子、セントラル硝子の3社体制が続いてきた。

しかし、1990年代以後、経済のグローバル化の進展と超薄板需要の拡大によって、世界の板ガラス業界地図は大きく変わった。いち早くグローバル化を進めた旭硝子は、ベルギーその他の板ガラス会社を買収して成長し、また日本板硝子も2006年にイギリスのピルキントン社を買収した。アメリカのPPG社は、板ガラス事業からの撤退を進め、塗料会社に変身していった。かつては蛍光灯用のガラス管などを製造していた日本電気硝子がFPD用超薄板生産によって、板ガラス生産ではセントラル硝子を追い抜き、セントラル硝子は、サンゴバンと業務提携するようになった。こうして世界板ガラス会社のトップ3は旭硝子、サンゴバン、日本板硝子に入れ替わり、日本の板ガラス会社の存在が大きくなった。

ところが、最近では、アジアで新興板ガラス会社が成長し、日本の板ガラス市場にも、建築用板ガラスを中心にアジアからの輸入品が急増している。このため、世界トップ3になった旭硝子、日本板硝子とも、板ガラス部門の業績が急激に悪化するという意

第11回化学史研修講演会のご案内

日時 2014年8月23日(土) 13:00～16:15
会場 〒108-0023 東京都港区芝浦3-3-6
CIC(キャンパス・イノベーションセンター東京)

プログラム

「永久磁石の歴史とネオジム磁石の発明」
佐川 真人(インターメタリックス(株)最高技術顧問)
「幕末のロンドンにおける薩長留学生と化学の邂逅」
菊池 好行
(国立大学法人 総合研究大学院大学特任准教授)

主催 化学史学会 <http://kagakushi.org/>
後援 公益社団法人 日本化学会
(予定) 公益社団法人 新化学技術推進協会
日本基礎化学教育学会
日本理化学協会
東京都理化学教育研究会

参加申込

申込方法 葉書・ファックス・e-mail のいずれかにて、氏名・所属・連絡先を明記の上、下記にお申し込み下さい。
申込先 〒352-8523 埼玉県新座市北野1-2-25
立教新座中学校高等学校 渡部智博宛
TEL 048-471-6631 FAX 048-473-0455
e-mail twatanab@nhss.rikkyo.ne.jp
締切 2014年7月25日(金)まで
参加費 無料(資料代1,000円)

その他 申し込みを受け付け後、受講証をお送り致します。費用は当日お支払い下さい。希望者には、修了証を発行します。申し込みの際、その旨お知らせ下さい。