

日本の板ガラス

# FLAT GLASS



板硝子協会

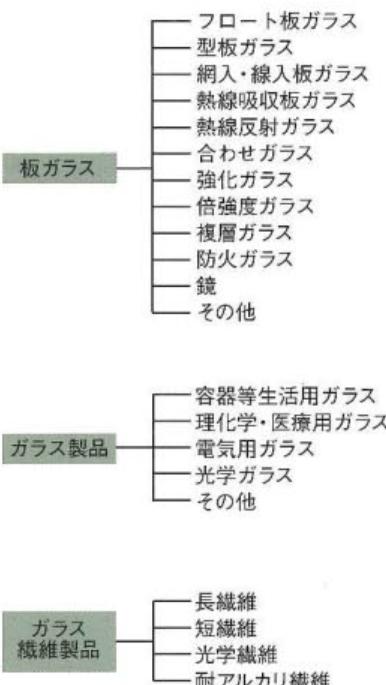
## INDEX

ガラスの種類とガラス工業	1
ガラスの歴史	2
・ガラスの世界史	4
・ガラスの日本史	6
・板ガラスの発達史	8
・日本の板ガラス工業のあゆみ	10
現代の板ガラス	13
・板ガラスの種類	14
・板ガラスの製造方法	16
・板ガラスの用途	20
・板ガラスメーカー	22
・板ガラスの流通	26
・世界の板ガラス工業	28
日本の板ガラス工業の課題	30
日本の板ガラス工業年表	33

# ガラスの種類とガラス工業

## ● さまざまなガラス

透きとおり、澄みきっているガラス。同じように見えて、その成分とつくり方によって、まったく違った製品になり、まったく異なる使われ方をしています。たとえばガラスといえば、まっさきに窓ガラスやガラスの食器を思い浮かべますが、ガラスの用途はこれだけではありません。光学機器のレンズや理化学用のガラス器、さらには住宅の断熱材として使われるガラス繊維やエレクトロニクスの微細な部品にもガラスが使われ、意外にも私たちの身近なあらゆる分野で役に立っています。このようにひと口にガラスといっても、現在では多種多様に分化し、それぞれの分野で成長し、独自の工業分野を確立しています。このガラスの分野を大まかに分けると、下記のようになります。



## ニューガラス

## ● 板ガラス工業

板ガラス工業というのは、文字通り平原なガラスを製造している分野で、その基礎的な製品にはフロート板ガラス、型板ガラス、網入り板ガラス等があります。近年は生活様式の変化、安全や省エネルギーなどの社会的要請から、合わせガラス、強化ガラス、複層ガラス、熱線吸収板ガラス、熱線反射ガラス、鏡等高機能商品の使用率が高まっています。もともと板ガラス工業は、他のガラス分野と一体となって成長してきましたが、20世紀にはいって相次ぐ技術革新が実現するとともに高度の製造技術と巨額の資本を必要とする典型的な装置産業に発展し、今日では世界的に少数の大企業に集約されています。しかし周知のとおり、板ガラスの需要は、品種、厚味、寸法、用途が多様で、つねに用途に即した新しい製品が要求されています。そのため今日の板ガラス工業界では、常に新しい技術開発や流通面の合理化に努め、建築、自動車をはじめ他産業の主要なパートナーとしての地位を高めつつあります。

## ● ガラス製品工業

ガラス製品工業は、びん類などの容器ガラス、電球や電子管などの電気用ガラス、レンズなどの光学用ガラス、フラスコなどの理化学用ガラス、食器や花びんなどの工芸ガラス等、さまざまな種類の製品を製造している非常に分野の広い工業です。その中でも代表的なものは、ガラスびん、電気用ガラス、ガラス食器です。

従来、この分野の製品は手工業で生産されていましたが、今世紀にはいって製びん工業、一部の電気ガラス工業が機械による連続生産の大工業になり、他の分野についても今世紀の中頃から大量生産が実現しています。いっぽう、光学機械など最新技術の誕生とともに、従来のガラスの性質の範囲を越えた新しいガラスの創造が不可欠になってきましたが、光学ガラス分野の発展は、ガラスの物性研究や新しいガラスの開発に大きな役割を果たしてき

ました。伝統的な工芸と最新の科学が同居しながら、それぞれの道を追求しているのが、この分野の最も大きな特徴です。

## ● ガラス繊維工業

ガラス繊維には、長纖維と短纖維の2種類があり、さまざまな用途が開発されています。長纖維の代表的な使い方は、プラスチックを長纖維で強化したFRP(ガラス繊維強化プラスチック)、短纖維の場合は、建築用の断熱・吸音材やGRC(ガラス繊維強化セメント)などがあります。ガラス繊維が本格的に工業生産されるようになったのは、1950年代以降のことですが、両製品とも近年著しく需要が拡大し、とくに建築用のガラス繊維製品は、省エネルギーに役立つ製品として飛躍的に発展を遂げつつあります。また、一部の長纖維はICやLSIを搭載するプリント回路基板の材料として使用されています。これを初めとしてガラス繊維工業は、これからも次々に新しい分野を開拓していくことでしょう。ガラス繊維工業は、ガラス工業の中で最もユニークな存在といえます。

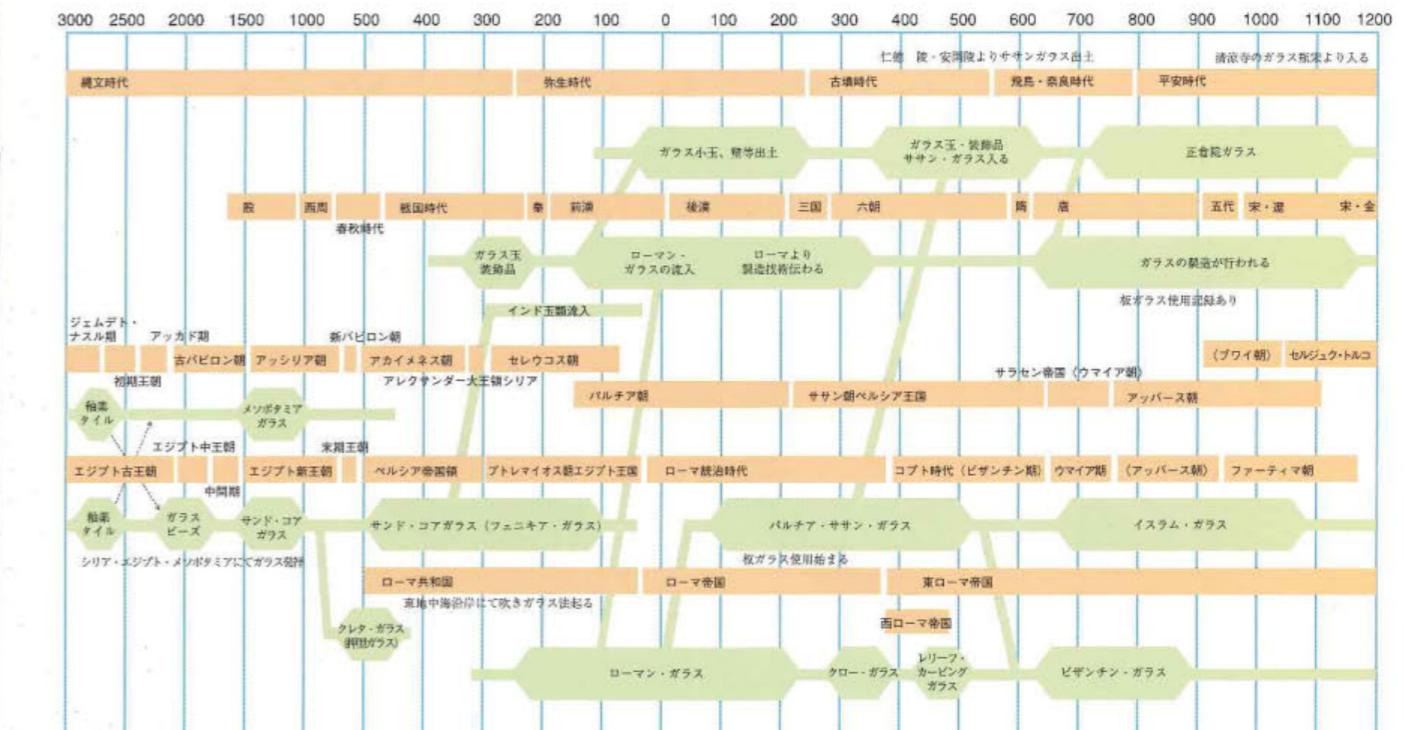
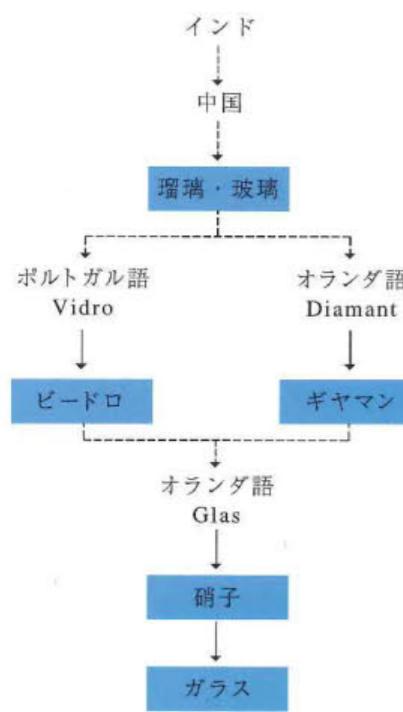
## ● ニューガラス

ガラス材料において通信用光ファイバーや集積回路用フォトマスクなど先端技術の基板となる素材として重要な位置を占めるものが数多く出現し、新素材ガラス(ニューガラス)として注目を集めています。ニューガラスは、エレクトロニクスやオプトエレクトロニクス関連分野、自動車・建築分野、化学・バイオメディカル分野等へと、ハイテク技術を活かして次第にその裾野を広げています。ガラス産業全体で西暦2010年には、市場規模が2兆円に達すると見込まれており、板ガラス工業も設備集約型から技術集約型のハイテク産業へと、より成長力のある業種への変身を期待されています。

# ガラスの歴史

## ●ガラスの語源

ガラスという言葉は、オランダ語の Glas に由来するものです。日本語にはガラスを意味する言葉がたくさんあり、古くは瑠璃（るり）とか玻璃（はり）とか呼ばれ、また、16世紀に入つてからはビードロやギヤマンなどとも呼ばれていました。瑠璃と玻璃は、インドから中国を経てきた言葉といわれ、ビードロはポルトガル語の Vidro、またギヤマンはオランダ語の Diamant からきた言葉だといわれています。しかし、時代とともに、同じオランダ語から入ってきた「ガラス」が一般的に使われるようになります。ギヤマンもビードロも退けて今日にいたっています。また、硝子と書いてガラスを意味したのは、原料に硝石を使うことから当たるもので、これをガラスと読ませたのは明治の初年、官営の品川硝子製造所で使ったのが、初めてのことだといわれています。



●古代ガラス年表



●伝播系路図 ●主なる製作地 ○主なる出土地



手付瓶 3~4世紀 シリア



小鉢 6~7世紀 ベルシア

## ●ガラスの発見

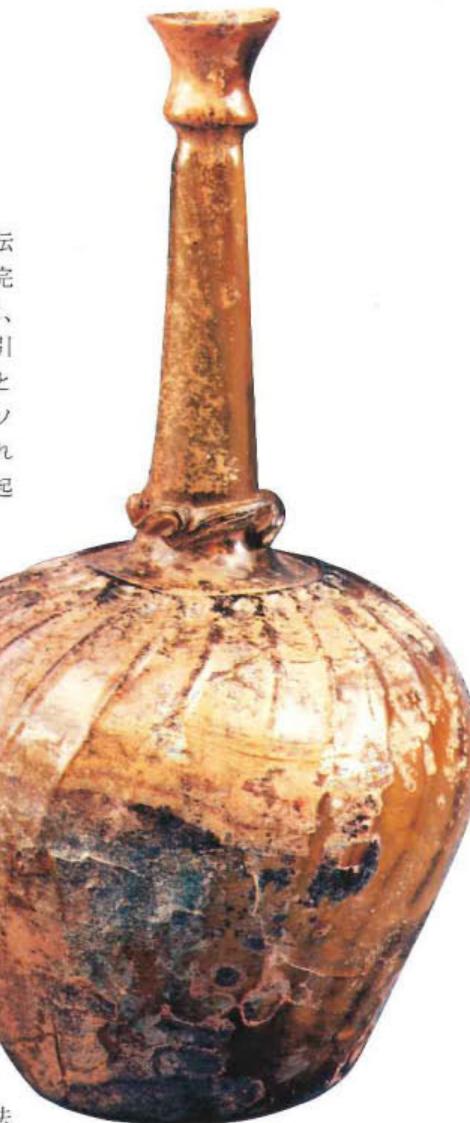
ガラスの起源について、その土地や時代にまだ結論は出されていませんが、一般には紀元前数千年のメソポタミアかエジプトだとされています。そしてガラスが比較的普及するようになったのは、3,500年前頃だといわれています。当時のガラスは、今日の常識からいえばガラスのイメージをはずれるものです。製法は、砂質粘土で内型をつくり、その外側を熔かしたガラスで覆って固化し、内型をくずしてつくる方法や、雌型に熔解ガラスを入れて雄型をあてて成型する方法でした。これらは一個一個の型をつくりガラス器を成型するため、大量生産は不可能で、器形や大きさにも限界がありました。いっぽう中国でも、同時期のものと考えられるガラスピースやトンボ玉などが発見されていますが、これはメソポタミアやエジプトの技術が交流によって伝えられたものとされています。

## ●吹きガラス技法の発明

紀元前30年頃の新しいローマ帝政時代から、ローマ帝国が分裂する395年までの間に、ガラス工芸史上もっとも画期的な生産技術革命が起こりました。この技術は、吹きガラス技法と呼ばれるもので、鉄パイプの先端に熔けたガラスを水鉢のように巻きとめて丸くし、もう一方の端から息を吹き込んで、ガラスを風船のようにふくらませ成型する方法です。ふくらんだガラスは外気にあたる面積がふえ、800℃前後の柔かなガラスも急速に冷えて、小型のものなら2~3分でたちまち固化し、大型のものでも10分とはかからずでできあがります。一個一個型をつくりていた時代では、及びもつかなかつた大量生産が可能になったわけです。この吹きガラス技法は、今日もなおそのまま受け継がれ、基本的なガラス技法として世界中で使い続けられています。当時のガラス工芸品は、ローマン・グラスと総称されるもので、この他カット加工、エナメル彩画、線描画などの技術が特徴的に見られます。いっぽう、窓材料については、古代ローマの住宅建築では、半透明の天然石膏や雲母の板が一般的だったようですが、この頃にはじめてガラスによる窓が誕生したといわれています。ポンペイの中央広場の東北隅に接したフォロー街に面している「広場浴場」の円天井には、2つの小さな窓の青銅窓枠に4個の幅230mm、長さ540mmの板ガラスが使われていました。また、4世紀頃のローマ詩人エル・シー・ラクタンティウスが「我々は窓ガラスを通じて見るよう、眼で物を見分ける」と記していますが、このことはこれ以前に透明ガラスが出現し、すでにかなり普及していたということの証拠になるといえましょう。これらガラス器や生産物、技術などは、ヨーロッパをはじめ遠く中国までも伝えられたようで、いろいろな古文献に窓ガラス等についてのさまざまな記載があります。

## ●新様式の誕生

隆盛を誇っていたローマ帝国は395年に東西に分裂し、476年に消滅してしまいました。永い間にわたる荒廃によってローマに咲き誇っていた学問も技術も芸術も、すっかり衰退してしまいました。しかし、このローマのガラス工芸は、東方に移住したり辺境に住みついていた工人たちによって守られ、やがてその土地に根を降ろして独特の様式をととのえ、各地に新様式のガラス器を誕生させることになりました。フランク・グラス、サン・グラス、イスラーム・グラス、ビザンチン・グラスなどと呼ばれるのはその代表的なものです。また、エナメル彩色や色ガラスの製造等も盛んに行なわれ、とくにビザンチン帝国で開発されたステンドグラスは、隣接した東方の回教国にも普及し、西洋ガラス工芸の基礎をつくったといわれています。

ローマン・グラス  
手付杯  
3~4世紀 シリアイスラーム・グラス 長頸瓶  
10~11世紀  
ペルシア

を発明するにいたり、世界中に広く伝播することになりました。1682年に完成したヴェルサイユ宮殿の鏡の間は、このムラノ島からフランスが職人を引き抜いてつくったもので、現代いうところの産業スパイ物語のようなエピソードが隠されています。その後、これを契機にフランスには鏡のブームが起きました。

## ●板ガラスの製法の確立

鏡ブームをつくった陰には、板ガラスの製造法の発達も忘れるわけにはいきません。従来細々とつくられていた板ガラスも、新しい製法の発明によって工業化・量産が可能になったのです。この頃からガラスが次第に工芸品から、実用品への転換を始め、その後ガラス工芸の分野と板ガラスの分野にはっきり分化し、それぞれに独自の歩みを開始しました。そして板ガラス分野では、次々に新しい製法と新しい品質のガラスが開発され、今日のガラスなくして考えられない文明を築きあげることになりました。

(写真：日本板硝子コレクション)

ビザンチン・グラスタイル  
9~12世紀 ビザンチン

## ●近世のガラス

近世は、工芸としてのガラスが大きく発達しました。1200年頃に滅亡した東ローマ帝国のガラス工人は、大部分がイタリアのベニス共和国に移動し、一世を風びしたベネツィア・グラスを起こしました。15~16世紀は、ベネツィア・グラスの最盛期で、国家の力によりガラス工人たちは、ムラノ島という小さな島に幽閉されるような形で移住させられ、技術島外不出のおきてのものと、世界のガラスを牛耳っていたことは、あまりにも有名です。この頃つくられたガラス器は、実に多様で、食器はもちろんのこと、シャンデリアやランプ、動物、船、塔などのガラス細工、鍊金術用の化学器具、室内装飾物、窓ガラス、鏡などあらゆるものに及び、とくに鏡については1507年にダル・ガロ兄弟が水銀を使ったガラス鏡



白瑠璃瓶 ササン朝ペルシア

●はるかエジプトから日本へ  
紀元前300～250年から紀元200年代までの弥生時代の遺跡から、勾玉（まがたま）、管玉（くだたま）、釧（くしろ）、璧（へき）などが多数発見されていて、これらが日本の最古のガラスだといわれています。中国では周代（紀元前1,000年頃）の遺跡から珠玉類が発掘されていますが、いずれも西方世界から輸入されたもので、中国でガラスがつくられたのは戦国時代（紀元前500～紀元前200年頃）からだと考えられています。日本最古のガラスは、この中国製のガラスではるかエジプトやメソポタミアの影響が遠く日本にも及んでいたと推定されます。日本でガラスが製造されるようになったのは、3世紀の弥生後期から6世紀の古墳時代のことだとされていましたが、岡山県の百間川遺跡からガラス熔滓（ようさい）＝ガラスのかす＝が発見され、弥生中期にはガラス製造が行なわれていたと推定されるようになりました。

●正倉院宝物と日本のガラス  
日本の古代ガラス器としては、正倉院所伝の6個のガラス器が広く知られていますが、これらは大陸から渡来したもので、日本の技術はまだそれほど発達していなかったと考えられています。しかし、仏教の興隆に伴ない、ガラスの製造が盛んになり、仏像や仏具に用いたり、七宝に加えられるなど徐々にガラスが普及していたことが認められています。平安時代になると、たま類などの製造は衰えたようで、新しく刀の鞘の螺鈿（らでん）や莳絵等にガラスが登場しています。

紺瑠璃杯  
ササン朝ペルシア

●西欧の近世ガラスと日本  
日本に入ってきた最初の西欧ガラスは、1549年にポルトガルの宣教師フランシスコ・ザビエルが持つてきたガラスの鏡や、遠めがねだとされています。寛永の鎖国以後は、オランダやイギリスからガラス器が入ってきましたが、これらはビードロやギヤマンなどと呼ばれ、江戸時代の入びとに大いに珍重されました。また、板ガラスを日本で最初に応用したのは、1688～1703年（元禄）の伊達綱宗で、江戸品川の居宅の障子には四角い板ガラスがはめ込まれていた

とされています。西欧のガラス製造法が日本に入ってきたのは、1570年代の長崎で、18世紀初めにはこれが大阪にも伝えられています。1770年に刊行された橋珉江の「江戸職人部類」には、簡単な坩埚（るっぽ）を使い、ビードロを吹いている図が描かれています。1716～1735年には、長崎のビードロ師が、三都で新しい感覚を盛り込んで、ビードロ製法を興行し、舞台で小徳利や風鈴などをつくりたり、彩色ガラスの灯籠を見せたり、ガラス細工といったものも流行したようです。

●日本独自のガラス工芸へ  
1846年、製薬館を設けた島津藩主島津齊興は、薬びんを製造するため、江戸のガラス工四本亀次郎を招き、1851年には美しい発色の透明な紅ガラスを創製することに成功しました。従来、各地でガラス器が製造されていましたが、「ヨーロッパ人のギヤマンは殊のほか珍重されている」と記録があり、この時まで、日本のガラス技術はまったく幼稚なものであったようです。その後、ここでは精妙なカットを

特色とする薩摩切子（きりこ）を誕生させ皿、丼、コップ、茶碗等の食器から、「切子香水入れ」などさまざまなものを作りました。いっぽう、江戸でも江戸切子と呼ばれる獨特のカット技法が開発され、切子鉢や切子くしなどを多数生産していました。

#### ●ガラス工業の誕生

これまでの歴史でもわかるように、日本のガラス製造は後進的で、板ガラスの登場は明治維新後になりました。当時、維新政府は国際環境への対応策として、軍事工業・鉱工業の早期確立を急ぎ、兵器生産を集中する一方、工部省を設定し広汎な官営事業に乗り出し

白瑠璃碗  
ササン朝ペルシア

ました。  
ガラス工業についても、1876年（明治9年）に官営の品川硝子製造所を設立し、ガラス器物と板ガラスの生産を計画しましたが、技術の不足と資金の不足が原因で失敗に終っています。本格的な板ガラス工業の誕生は、明治40年の旭硝子の設立に始まります。

(写真：正倉院宝物)



紺瑠璃壺 9世紀

### ●建築用板ガラスの製造

なんとかしてガラスを建築にとり入れたい、という人類の願いは、板ガラスの量産化とともに実現し、普及しています。

そのはじめよりは、7世紀頃シリア人が発明したクラウン法(Crown Glass Process=人口球吹法)だとされていますが、近代的な大量生産が行なわれるまでは、時代や土地によってさまざまな方法が混在して使われていたようです。クラウン法ではまず、鉄パイプの先に熔融素地を巻き取り、これを西洋梨の形に吹き、別の鉄棒の先端に熱いガラス素地をつけて梨の下端に熔着し、梨の頸部(図のA…B)から吹桿を切り離します。その後、残ったクラウン状の部分を再加熱して軟化し、これを鉄棒を軸にして高速回転させます。すると切り口が遠心力によって開き、直径1m程度の円板となり、これから切りとて板ガラスができるのがあります。

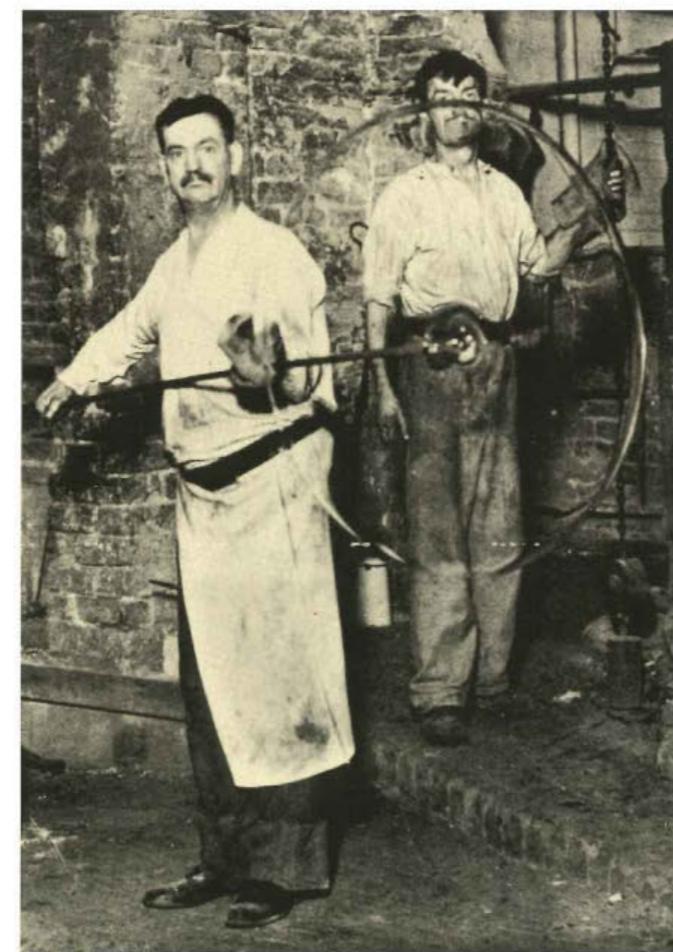
大型の板ガラスが登場するのは、キャスト法(Table Casting Process=鋸造法)が発明されてから以降のことです。

この方法は、1688年にフランスのド・ヌー(Lucus de Nehou)によって完成されたもので、坩堝で熔かしたガラスを金属板の上に流し、鉄製ロールで圧延し、平板なガラスをつくり、これを磨くというものです。

### ●産業革命と板ガラス

18世紀後半に起こった産業革命は、ガラス工業にも重大な革新をもたらしました。フランスの化学者ルブラン(N. Leblanc)は、ソーダ灰の新製造法ルブラン法を発明(1790年)し、これから、ガラス原料のアルカリ源が、従来の木の灰や海藻灰に代ってソーダ灰になりました。また、ガラスの原料を熔解する燃料に石炭が使われる始めると、ドイツのシーメンス(Siemens)兄弟

が、ガラス工業にひとつのエポックを画したといわれる画期的な技術、蓄熱式加熱方法を発明しました(1857年)。このことによって、高温を得ることが容易になり、ガラスを熔解する技術が一大進歩をとげ、これとともにガラス工業はいくつかに分化しました。そして、そのひとつとして板ガラス工業が独立することになりました。1800年頃から製法も手吹円筒法(Cylinder Blown Process)が中心になり、従来より品質のよい薄い板ガラスがつくれるようになりました。この方法は、熔融素地を吹桿で円筒状に吹き、また大型の場合は円筒の型の中に吹き込んで成形し、その両端を切り離し、円筒を縦割りしてひろげるというものです。この作業は、円筒を窯内で再加熱しながら、窯の底板の上で、先に柳などの燃えにくい木をつけた鉄棒で行なわれました。



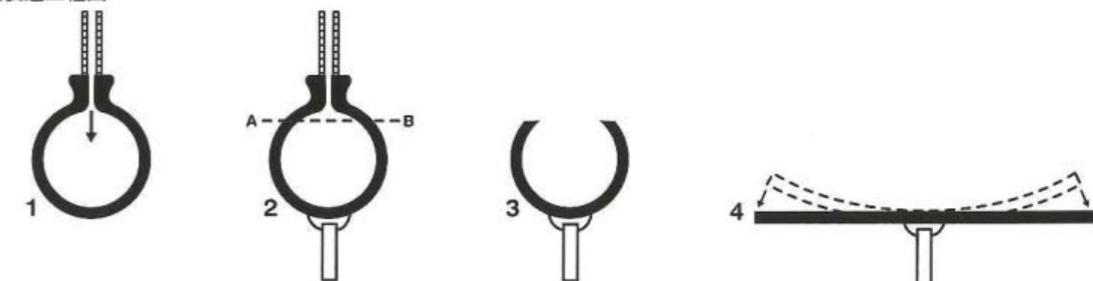
### ●20世紀の大量生産化

20世紀に入るとガラス工業の舞台は、新興国アメリカに移りました。1902年には、アメリカ人ラバース(John H. Lubbers)が、革新的な大量生産方式といわれるラバース式機械吹円筒法(Cylinder Drawn Process)を完成しました。これは、ガラス素地を熔解炉から大型坩堝に移し、この中に吹口金具を押し込み、庄搾空気を吹き込みながら吹口を徐々に引き上げるという方法です。この方法によって、円筒は最大直径約0.6m、長さ約12mもの長大なものが製造できるようになりました。この円筒を輪切りにし、縦割りして板状にするのは、手吹円筒法とまったく同様の方法です。この機械化が実現して以降、現在にいたるまで次つぎに新しい連続生産方法が開発されています。1913年には、ベルギー人エミール・フルコール(Emile Fourcault)によって、普通板ガラスの製造方法として、フルコール法(Fourcault Process)が完成されました。これに次ぎ、1916年には、アメリカ人コルバーン(Irving W. Colburn)によって、コルバーン法(Colburn Process)

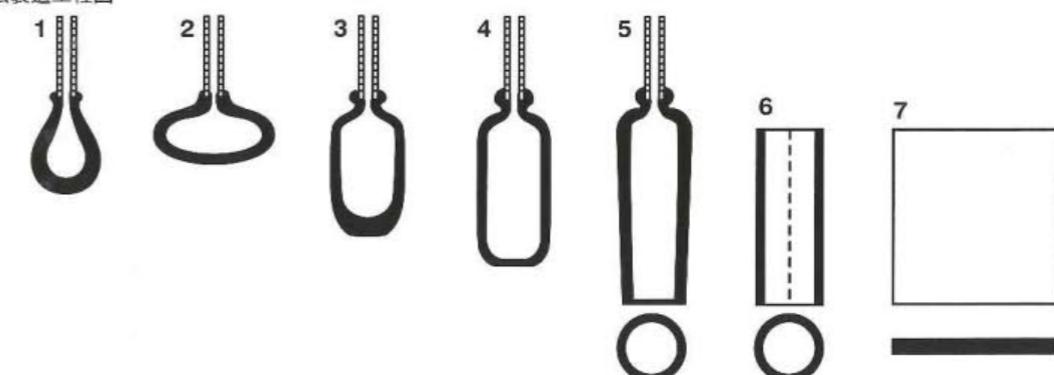
が完成されました。また、1928年には、垂直式板引法のひとつとしてアメリカのピッツバーグ・プレート・グラス社によってピッツバーグ法(Pittsburgh Process)が完成されました。このほか、みがき板ガラスの素板製造方法として、アメリカのフォード社によって、1922年に連続ロール法が開発されました。これは現在世界各国で型板ガラスや網入板ガラスの製造に採用されているロールアウト法(Rolling-out Process)に発展しています。みがき板ガラスの製造技術は、鏡にする素板を手吹円筒法によってつくり、これをみがきあげるという形で14世紀初め頃からありました。その後キャスト法による素板の製造時代を経て、今日の連続的な生産方式へと移行しました。最初に完成したのは連続式片面みがきの方法で、これはアメリカのフォード社によって1922年に開発され、現在も使われています。また1923年には、イギリスのビルキンソン社によって、窯から連続的に粗摺できる方法が開発され、1935年にはこれが窯から連続的にしかも両面同時にできるツイン・グラインディング・プロセ

ス(Twin Grinding Process)という方法になりました。このライセンスは1937年にフランスのサンゴバン社に供与され、両面を同時に粗摺研磨できるツイン・グラインディング&ポリッシング・プロセス(Twin Grinding and Polishing Process)に発展しました。そしてこの方法は、ベルギーのサンブル社によって改良され、デュープレックス方式(Duplex Process)という自動連続同時粗摺・研磨方式に展開されました。この両法では、窯から出てきた素板が一度も切断されることなく、両面同時に粗摺と研磨が連続して行なわれるため、生産効率が一挙に増大するようになりました。また1959年には、1952年からビルキンソン社によって開発してきたフロート法(Float Process)といわれる革新的な製造方法が、本格的な生産段階を迎え、以後、この方法が世界中に普及しています。なお、これら現代採用されている製造方法については、16ページの「板ガラスの製造方法」に紹介していますのでご参照ください。

### ●クラウン法製造工程図



### ●手吹円筒法製造工程図



### ●板ガラス工業の胎動

日本で板ガラス工業を本格的に企画したのは前述のとおり、明治の維新政府でした。1876年（明治9年）、政府は工部省の経営のもとに品川硝子製造所を設立し、ガラス器と板ガラスの製造を企画しましたが、手吹円筒法による板ガラスの製造には、技術の未熟さから失敗しています。その後、明治の末までに、渋沢栄一の磐城硝子会社など、数社がガラス器と板ガラスの製造を計画していますが、板ガラスについては、いずれも失敗に終りました。1889年（明治22年）の東海道線全通以来、産業の発達が促進され、基礎物資の輸入が増大し、ガラスの輸入も1901年（同34年）には、輸入金額上位25品目の一角を占めるようになりました。これに機に、1902年（同35年）帝国議会は、板ガラス工業の育成を計るために「窓ガラス製造業保護奨励に関する建議案」を通過させました。この建議案では、民間に資本金100万円の板ガラス製造会社を設立し、50万円もの巨額の資金を交付することとしていましたが、日露戦争の勃発で中止されました。またその後、東洋硝子製造株式会社が、150万円の大資本をもって、ベルギー、フランス、イギリスとの合弁で、板ガラスの製造にとりかかりましたが、資金不足で解散しました。このように、板ガラス工業の胎動期は、失敗の繰り返しが続きました。これは、基本的な技術が板ガラス工業を成立させるにはいたらなかったばかりでなく、当時としては巨額の資本をもってしても、その維持には追いつかなかったことに原因があるといわれています。

### ●旭硝子の設立

日本で最初に国産の板ガラスが市場に出たのは前述のとおり、明治の維新政府でした。1876年（明治9年）、政府は工部省の経営のもとに品川硝子製造所を設立し、ガラス器と板ガラスの製造を企画しましたが、手吹円筒法による板ガラスの製造には、技術の未熟さから失敗しています。その後、明治の末までに、渋沢栄一の磐城硝子会社など、数社がガラス器と板ガラスの製造を計画していますが、板ガラスについては、いずれも失敗に終りました。1889年（明治22年）の東海道線全通以来、産業の発達が促進され、基礎物資の輸入が増大し、ガラスの輸入も1901年（同34年）には、輸入金額上位25品目の一角を占めるようになりました。これに機に、1902年（同35年）帝国議会は、板ガラス工業の育成を計るために「窓ガラス製造業保護奨励に関する建議案」を通過させました。この建議案では、民間に資本金100万円の板ガラス製造会社を設立し、50万円もの巨額の資金を交付することとしていましたが、日露戦争の勃発で中止されました。またその後、東洋硝子製造株式会社が、150万円の大資本をもって、ベルギー、フランス、イギリスとの合弁で、板ガラスの製造にとりかかりましたが、資金不足で解散しました。このように、板ガラス工業の胎動期は、失敗の繰り返しが続きました。これは、基本的な技術が板ガラス工業を成立させるにはいたらなかったばかりでなく、当時としては巨額の資本をもってしても、その維持には追いつかなかったことに原因があるといわれています。

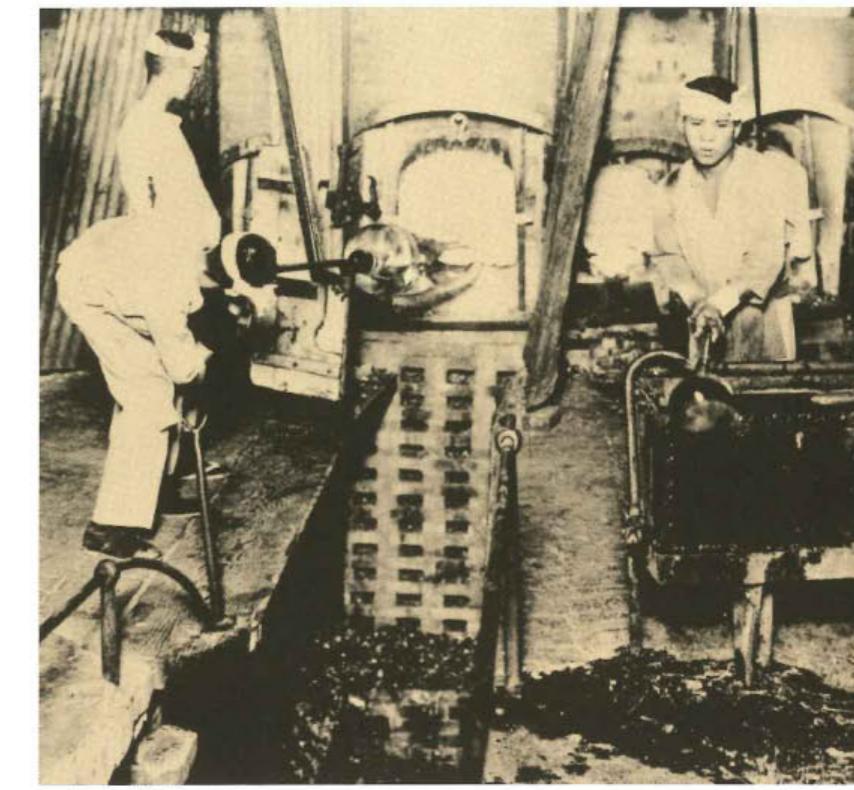
とだえたため、旭硝子は創業以来数年にして国内需要を一手に引き受けるばかりではなく、アジアを中心に輸出するまでになりました。いっぽう、大戦によって輸入原料のソーダ灰や耐火煉瓦の入手が困難になりました、1916年（大正5年）に尼崎工場隣接地に耐火煉瓦工場を、1917年（大正6年）には牧山工場内にソーダ工場を建設し、自給を開始しました。このようにして、生産体制を確立しましたが、さらに、1925年（大正14年）には、満州に満鉄との共同出資で昌光硝子（株）を設立し、わが国技術の海外進出のさきがけとなりました。

### ●日本板硝子の設立

1918年（大正7年）杉田与三郎は、アメリカのリバー・オーエンス社から、コルバーン式の板ガラス製造に関する特許権を買入れ、住友総本店の事業として日本板硝子（現在の日本板硝子）を設立し、現在の福岡県北九州市に板ガラス工場（後の若松工場）を建設、1920年（同9年）から生産を開始しました。コルバーン式は、機械吹法に比べ生産性の面で数段すぐれていて、日本ではこれから板ガラスの連続的機械生産が始まったわけです。その後、同社は1931年（昭和6年）に社名を日本板硝子に改め、1936年（同11年）には四日市工場を建設しました。

### ●本格的工業化へ

その後旭硝子は、1928年（昭和3年）に尼崎工場を連続的機械生産方法のフルコール式に改造。また1931年（同6年）に鶴見工場をピツバーグ式に改造、さらに翌年には、みがき板ガラスの製造を開始するなど、しだいに生産性を向上し規模を拡大してきました。そしてさらに新しい窯用の耐火物としてコルハート・ブラックという高アルミナ質の電融铸造煉瓦の製造技術を導入しました。この電融铸造煉瓦の出現は、日本の板ガラス工業に画期的な進歩をもたらし、日本での板ガラスの自給体制に大きく貢献しました。この頃ヨーロッパ諸国、なかでもベルギーやチェコは、世界貿易の不振のはけ口を求めて、日本に対してダンピングを強行してきました。そのため、1929年（昭和4年）から1931年（同6年）の間に、生産の20%強が輸入され板ガラス工業界はかなりの打撃をこうむりました。しかし、その後恐慌が去り、経済活動が復興するとともに、建物の近代化がすすみ、板ガラスは品質の多様化が要求され、これまで単に透明な普通板ガラスだけを生産していた旭硝子も、1935年（昭和10年）にはアメリカから型板ガラス、みがき板ガラスの製造技術を導入し工場を建設。また翌年には、日本板硝子もみがき板ガラス工場を建設しました。こうして、1935～1937年（昭和10年～12年）には、日本



の板ガラス工業が、国内需要のほとんどの種類を充足できるようになります。1937年、板ガラス製造会社5社、8工場、14窯。その月産能力は73万箱に達し、世界一流の生産能力を有するまでに発展しました。この時こそ、日本に本格的な板ガラス工業が確立した時といえます。しかし、1937年の日華事変勃発、1941年（昭和16年）の太平洋戦争突入とともに、普通板ガラスは年々生産の縮少を余儀なくされ、みがき板ガラスと安全ガラスだけが航空機、艦船、自動車などの軍需物資に関連していました。そのため、フル操業という異常な事態を迎えることになりました。この戦時における板ガラス工業の後退は、技術水準をも後退させ、その後の板ガラス工業の発展に大きな影をつくりました。

### ●その他メーカーの興亡

明治以降、板ガラスの製造を企画した会社が多数生まれました。1934年（昭和9年）創業の徳永板硝子、1937年（昭和12年）創業の昭和化学工業、そしてユニオン硝子、大正板硝子、豊州硝子、川南工業、徳永硝子など枚挙にいとまがありません。しかし、いずれも



技術上の困難、販売組織上の欠陥、莫大な資金負担などを克服できずに終っています。

### ●戦後の復興

終戦当時操業を継続していたのは、日本板硝子の若松工場だけでしたが、旭硝子、日本板硝子とも戦後いち早く復旧に努め、特に戦時に遅れた技術の回復のため外国技術の導入も行われました。市場は折しも、戦争による建築物をはじめ車両の被害で、深刻な板ガラス不足となり、異常なほどの需要をもたらしました。またさらに、朝鮮動乱は日本経済の復興の度合いを早め、工場建設、ビル建築のラッシュを引き起こし、板ガラス需要の増大に拍車をかけました。いっぽう、車両工業の発展も続き、各種板ガラスニセ製品の需要増に伴ない、その素材となる普通板ガラス、みがき板ガラスの品質向上を促しました。また、熔解炉の耐火物もジルコン系など新しいものがアメリカから導入され、1953～1954年（昭和28～29年）頃には、普通板ガラスの生産が質、量ともに飛躍的に改善されました。

## ●セントラル硝子の設立

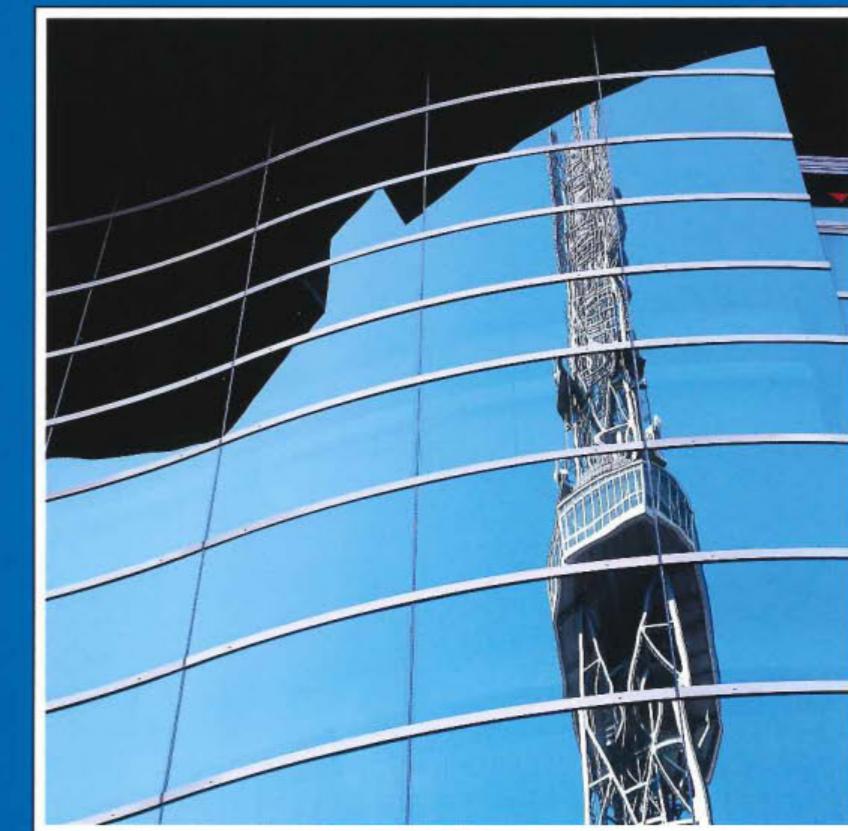
朝鮮動乱後、第二の好況期を迎えた1958年（昭和33年）に、宇部曹達工業がソーダ工業の合理化の一環として、小野田セメント、協和醸酵、三井物産などと合併で、三井系資本をバックにセントラル硝子を設立。1959年（同34年）に普通板ガラス工場を堺に建設し、次いで1963年（同38年）にベルギーからデュープレックス方式を導入して、松阪にみがき板ガラス工場を建設しました。この間、旭硝子は加工硝子工場として1956年（同31年）に川崎工場（後、京浜工場に合体）、1959年（同34年）に塚口工場（後、関西工場に合体）、1968年（同43年）に豊田工場（後、愛知工場に合体）を建設し、さらに1970年（同45年）には愛知工場を建設しました。また日本板硝子は、1952年（同27年）に舞鶴工場、1954年（同29年）に加工ガラスの川崎工場、1962年（同37年）に同じく加工ガラスの京都工場、そして1964年（同39年）

に千葉工場を建設しました。こうして、新しくセントラル硝子の参入を迎える、日本の板ガラスマーカーは、旭硝子と日本板硝子の両社が、イギリスのピルキントン社開発の画期的なフロート法を導入。1965年（昭和40年）から日本板硝子、1966年（同41年）の春から旭硝子が操業を開始しました。また、セントラル硝子も1968年（同43年）には同法を導入し翌年夏から操業を始めました。ここに日本の板ガラス工業は、建築・自動車などの成長産業の需要を背景とし、製品の種類、質、量とともに一大進歩をとげることになりました。

他方、戦後のわが国の生産技術海外供与は、1956年（昭和31年）のインド旭硝子（株）の設立に始まっています。日本経済が開放体制に移行はじめ1970年（同45年）の第3次資本自由化で、100%自由化を実現してからは、世界に門戸を開放するいっぽう発展途上国をはじめ世界各国に、資本や技術を輸出するなど国際化の時代を迎えました。近年は各社とも海外に生産拠点を保有しており、ビジネスのグローバル化に対応した供給体制を整えています。



## ●新技術の導入と国際化



近年の技術革新と需要の高度化に伴い、板ガラスも様々な新しい性能と特長をもった新製品が開発されています。主な製品は次のように分類されています。

- ・フロート板ガラス、みがき板ガラス
- ・型板ガラス
- ・網入・線入板ガラス
- ・熱線吸収板ガラス
- ・熱線反射ガラス
- ・合わせガラス
- ・強化ガラス
- ・倍強度ガラス
- ・複層ガラス
- ・防火ガラス
- ・鏡



#### ● 熱線反射ガラス

Solar Reflective Glass (JIS R 3221)

フロート板ガラスなどの表面に金属膜または金属酸化物膜を焼きつけたり、スパッタリングなどの方法で付着させたもので、すぐれた日射エネルギー反射性能により冷房負荷を大幅に軽減します。また、可視光線を適度に取り入れながら太陽光線を反射するので、落着いた室内環境をつくる効果もあります。外観は鏡面に近く、空や周囲の景色を映し、視覚的にも美しい建物をつくります。用途は、一般建築物から超高層建築物までの外装用です。

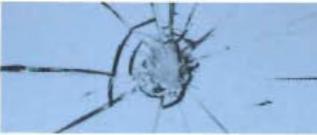
#### ● 合わせガラス

Laminated Glass

(JIS R 3205, R 3211, R3212)

万一、強い衝撃を受けて破損しても、強靭な中間膜によって破片の飛散が防止されます。また貫通もしにくく、きわめて安全性が高いガラスです。そのため、自動車のフロントガラスや超高層ビルの窓ガラス、人の多く集まる建物の出入り口など、安全性を要求される所に使用されています。この他、破壊しても侵入しにくいということで、盗難防止用（防犯ガラス）の需要が増大しています。また、水槽用など特殊な用途にも使用されます。なお、自動車のフロントガラスには、必ず合わせガラスを使用することが義務づけられています。

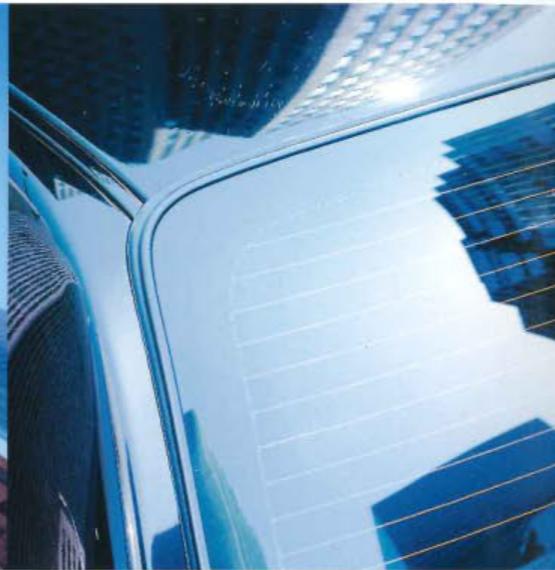
#### 合わせガラスの破損状況



#### ● フロート板ガラス・みがき板ガラス

Float Glass, Polished Plate Glass  
(JIS R 3202)

すぐれた平行平面をもった高級透明板ガラスで、最大10m×3m、厚さ19mmまでの大板ガラスが生産できます。用途は、建築物の窓やショーウィンドーはじめ、ショーケース、鏡の他、自動車や鉄道車両の安全ガラスの材料として用いられるなど広範囲に及んでいます。



#### ● 型板ガラス

Figured Glass (JIS R 3203)

表面に美しい型模様を彫り込んだもので、光を柔らかく拡散し、視界を適度に遮り、装飾用としても大きな効果を發揮します。用途は、一般建築用はもとより、家具や内装用など広範囲に及んでいます。



#### ● 網入・線入板ガラス

Wired Glass (JIS R 3204)

型板ガラスまたはみがき板ガラスに金網や金属線を入れたもので、火災の際に熱で割れても破片が脱落しにくく、延焼を防ぐ働きをします。網入板ガラスは建築基準法で防火設備に使用することができます。（なお、線入板ガラスは、防火用ガラスとして使用できません。）

#### ● 熱線吸収板ガラス

Heat Absorbing Glass (JIS R 3208)

太陽の放射エネルギーを20～70%吸収し、冷房負荷を軽減できる製品です。ブルー、グレー、ブロンズ、グリーンの4色の製品があり、可視光線の透過も低減するので、まぶしさを和らげる働きもします。用途は、美しい色調とすぐれた性能を活かし、各種建築物の窓などの他、自動車や鉄道車両の安全ガラス製造の材料として用いられます。



#### ● 強化ガラス

Tempered Glass

(JIS R 3206, R 3211, R 3212)

普通の板ガラスの3～5倍の強度をもち、衝撃、圧力、熱変化などに耐え、万一破損しても破片が細粒状になります。そのため、万一負傷しても軽傷ですむところから、自動車、鉄道車両、船舶、航空機の窓をはじめ、ビルなどの出入り口のドアや学校、一般住宅の窓としても使用されています。

なお、この強化ガラスは、合わせガラスとともに、旧建設省の指導の基に策定された「ガラスを用いた開口部の安全設計指針」でも推奨されています。

#### 強化ガラスの破損状況



#### ● 倍強度ガラス

Heat - strengthend Glass (JIS R 3222)

同厚のフロート板ガラスの約2倍の耐風圧強度をもち、万一破損してもフロート板ガラスと同様の割れ方をします。そのため12、15、19mm厚のフロート板ガラスを必要とする設計風圧力の高い場所でも、8、10mm厚の倍強度ガラスで代替使用できることから、ビルの外装用ガラスとして使用されています。

#### ● 防火ガラス

防火用ガラスといえば網入板ガラスが一般的ですが、フロート板ガラスに特殊なエッジ加工と超強化処理を施すことによって、透明で網のない防火ガラスとしての使用が可能になりました。防火ガラスには、上記以外に低膨張ガラスや結晶化ガラスのような通常の板ガラスと原料組成の異なるタイプのものや、複数の板ガラスの間に特殊ゲルやけい酸ソーダ等を充填し、火災発生時に発泡して炎や煙、輻射熱等を遮断するタイプのものもあります。

#### ● 鏡

Mirror (JIS R 3220)

鏡は、鏡台や姿見としてはもちろんのこと、インテリア材として広く使われています。銀色のものが一般的ですが、ブロンズやグレーのものなどがあります。

#### ● その他

この他、ガラスの持つ輝きや質感を活かして、色を焼きつけたり、模様を施したガラスが、装飾用として店舗等の壁装材や間仕切りとして広く利用されています。また、板ガラスに新しい特性を附加した製品も数多く開発されています。電熱線やアンテナ線を焼き付けた強化ガラス、それらを封入した合わせガラスは、車両船舶などに実用化されているものです。

## ●板ガラスの分類

板ガラスには、いろいろな種類がありますが、一般的には、型板ガラス、フロート板ガラス、みがき板ガラスに大きく分類され、これらは次のような工程を経て生産されています。

## ●原料、燃料

板ガラスの主原料は、けい砂（しゃ）、ソーダ灰、ほう硝、長石、石灰石、苦灰石、ガラス屑（カレット）などです。また、補助原料として、着色用に酸化鉄、酸化ニッケル、酸化コバルトなどがあり、これらは熱線吸収板ガラス（ブルー、グレー、ブロンズ、グリーン）等の生産時に使用しています。熔解用の燃料は、1955年（昭和30年）を境に石炭（発生炉ガス）から重油への転換が行なわれ、現在ではC重油を主燃料として使用しています。

## ●板ガラスの原料調合比（単位重量比%）

けい砂	36.3%
ソーダ灰	10.3%
ほう硝	0.7%
長石	2.7%
石灰石	1.1%
ドロマイ特	9.5%
ガラス屑（カレット）	39.4%

（平成11年版、旧通産省 窯業・建材統計）

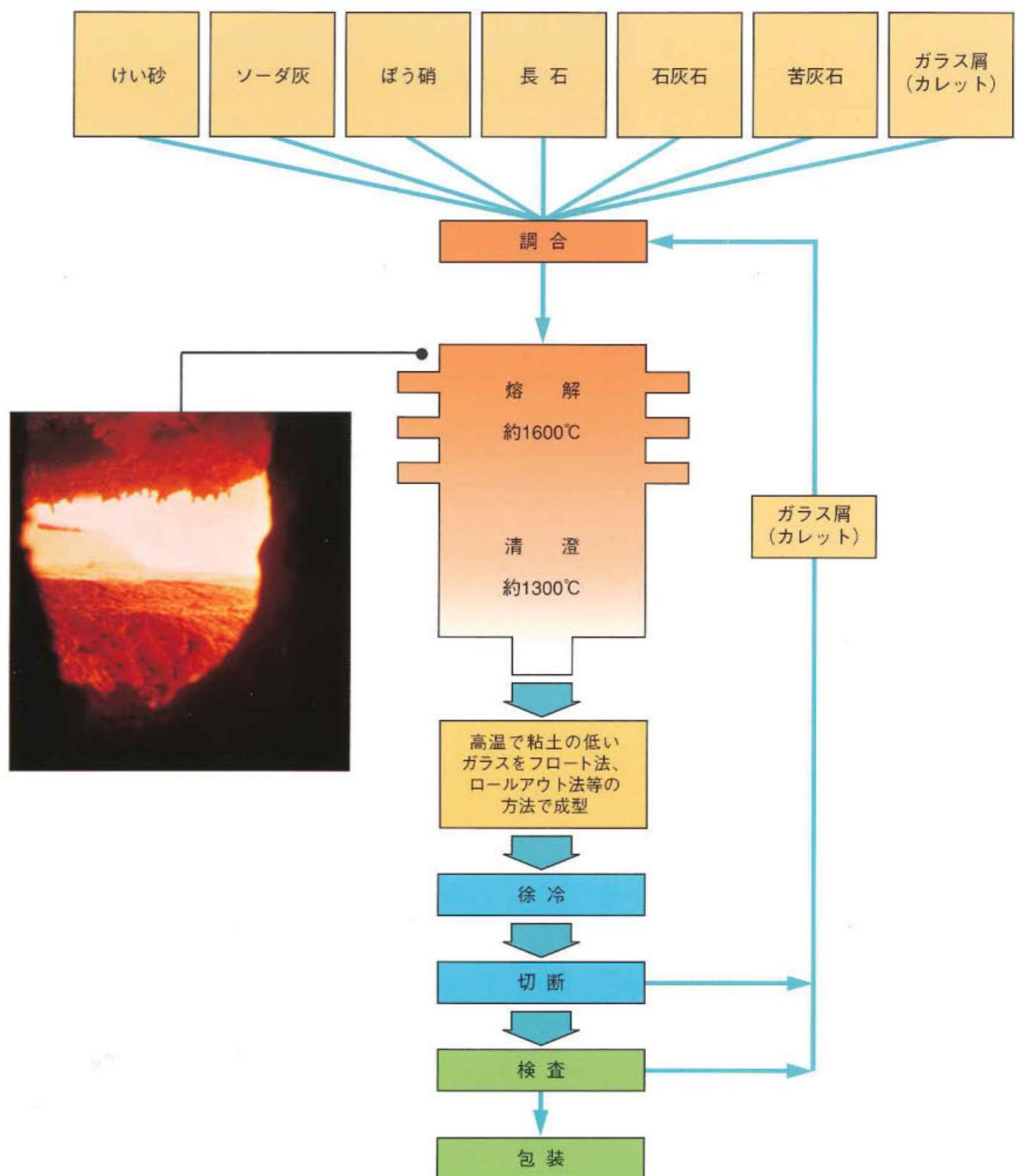
## ●基本的な製造工程

板ガラスの製法には、後述するさまざまな方法がありますが、基本的な製造工程は次のとおりです。けい砂、ソーダ灰、石灰石、苦灰石などの主原料を、一定の割合で調合した後、適当な割合でガラス屑（カレット）を配合、投入口から窯槽の内部へ送り込みます。これらは窯槽で熱せられ、1500～1600℃の高温で完全に熔解されガラス化し、しだいに澄みきった均質のガラス素地になります。次にこの素地を成型に適した粘度になるまで温度操作し、窯から後述する各種の方法で板状につくります。その後、この板状になったガラスは、徐冷窯に入り、残留ひずみをとり去るよう徐冷し、十分に冷却した後、洗浄・乾燥し、所定の寸法に切断して製品にします。

## ●操業上の特徴

板ガラスの熔解炉は、1,000トン以上の熔解したガラス素地をプールしているので、一度操業を開始すると、窯槽を構築している耐火煉瓦の物理的寿命がくるまでの期間（通常10～12年）は、窯槽を常時保温状態にしていなければなりません。そのため、操業は必然的に昼夜通しての連続操業形態をとっています。そして、10～12年ごとに、窯槽の作り直しを主体とした定期修繕（冷修）を実施します。また、板ガラスの熔解には高温が必要で、重油を大量に消費します。これに伴ない、SOx（硫黄酸化物）やNOx（窒素酸化物）が発生しますが、これらによる大気汚染防止措置として、SOxについては脱硫装置等によるコントロール、NOxについては燃焼方法の改善等が行なわれ、それぞれ効果を上げています。

## ●板ガラス製造工程



## ■一次製品の製造方法

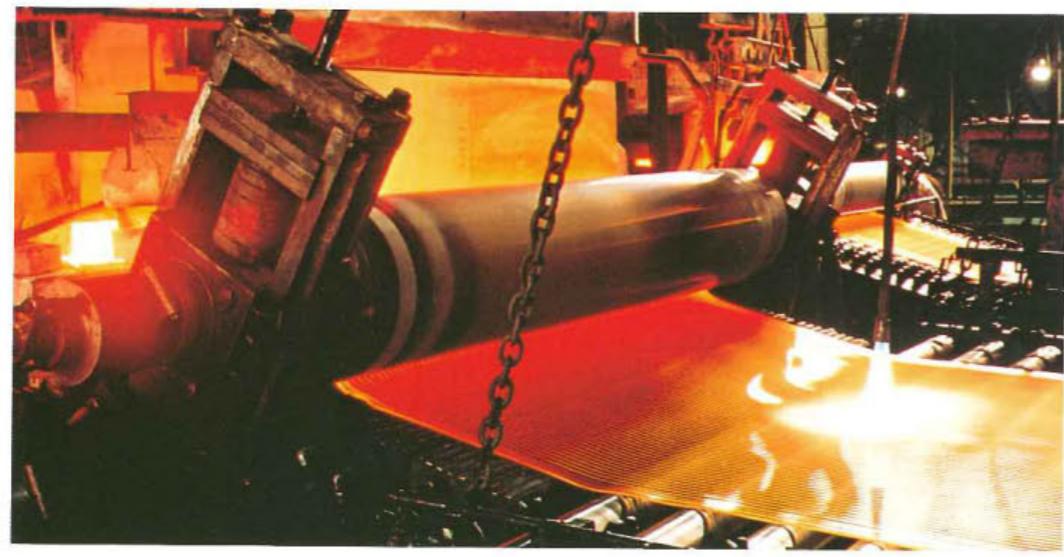
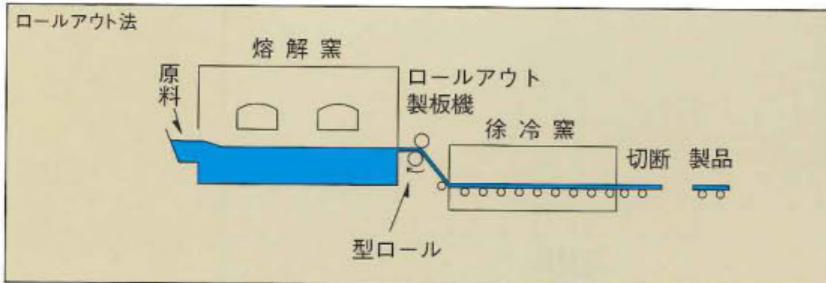
### ●フロート板ガラスの製法 (フロート法)

この方法は、熔解したガラスを熔融した金属の上に浮かべて製板する方法です。熔解したガラスは、窯槽から送り出し、フロートバスに入れ、その内部の熔融金属の上に浮かばせながら流します。この過程で、厳密な温度操作などを行ない、厚み、板幅の均一な板ガラスに成型します。熔融金属の表面は水平で、その上に浮かぶガラスも自然、両面とも水平になります。また、その間ガラスは上下から熱せられ、固体にも接しないので、両面とも自然のままの火造り面になります。次に、ガラスをロールの上に乗せても変形しない程度に冷やし、徐冷窯で十分に冷却した後、洗浄、乾燥して所定の寸法に切断します。

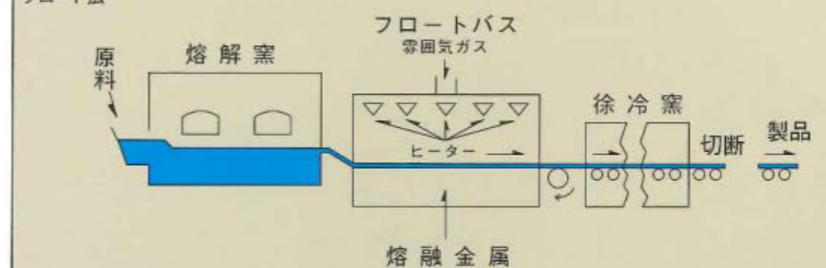


### ●型板ガラスの製法 (ロールアウト法)

これは、2本の水冷ロールの間に、直接熔解したガラスを通して製板する方法です。この製板の際、下ロールに彫刻した模様で、ガラス面に型板ガラスの模様を刻み込み、連続した帶状で徐冷窯に送ります。そしてその出口で一定の寸法に切断し、製品化します。



## フロート法



### ●みがき板ガラスの製法

みがき板ガラスの製法には連続式片面磨方式とデューブレックス法があります。

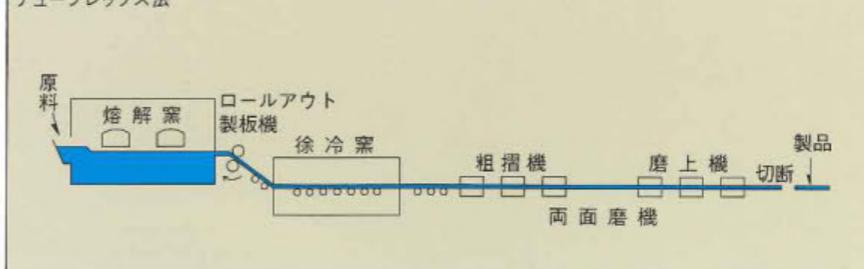
#### 1. 連続式片面磨方式

この方法は、研磨によって平行平面をもった板ガラスをつくる方法です。素板はロールアウト法によって製板します。この素板は、連結した鉄製のテーブルに石膏で連続して貼り付け、一定のスピードで進行させながら、まず粗摺り工程で鋳鉄製の回転研磨盤にけい砂、ガーネット（柘榴石、ざくろいし）などの研磨材と水を供給してガラスを平らに削ります。次いで研磨工程に入り、フェルト製の回転研磨盤に弁柄（べんがら=酸化第二鉄）と水を供給しながら細かい凹凸をとり去って平滑面に仕上げます。こうして片面を仕上げたガラスは、テーブルからはぎとり、反転して再びテーブルに貼りつけ、もう一方の面を同様に仕上げ、製品化します。

#### 2. デューブレックス法

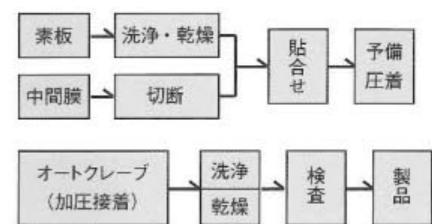
この方法は、両面同時に連続的に自動研磨してみがき板ガラスを製造する方法です。ロールアウト法によって製板し、徐冷したガラスは、切断しないまま両面同時研磨の工程に入れます。まず、粗摺り工程は連結した素板を、鋳鉄製の回転研磨盤で上下からはさみ、両面同時に研磨します。次に、そのガラスは連結して次工程に移り、フェルト製の研磨盤で研磨材を使用し、両面同時にみがき上げて製品になります。

## デューブレックス法



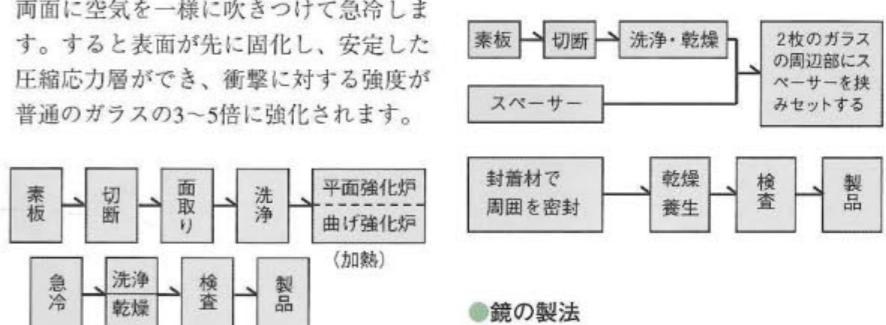
## ●合わせガラスの製法

2枚またはそれ以上のガラスの間に、透明で接着力の強いポリビニールブチラールを中間膜としてはさみ、油圧または空気圧のオートクレーブ（圧力ガマ）に入れ、120～130℃、約15kg/cm<sup>2</sup>で圧着し製品化します。



## ●複層ガラスの製法

通常2枚（特別な場合は数枚）の板ガラスをスペーサーで一定の間隔に保ち、その周囲を封着材で密封し、スペーサーに封入した乾燥剤で内部の空気が乾燥状態に保たれるようにした製品で、次のような工程でつくられます。



## ●鏡の製法

現在、板ガラスメーカーをはじめ、広く採用されているのは、連続生産方式です。洗浄し前処理したガラスに銀めっき（銀引）を行ないます。

次にこの銀の保護のために銅めっき（銅引）を行ないます。そしてこれに、さらに下塗りや上塗り塗料で塗装し、乾燥焼付けして製品にします。また、この他、銅めっきによる裏打ちの代わりに、カゼインで裏打ちし、これに光明丹などを塗布する製法もあります。





●光を人間のものにした板ガラス  
文明は光です。自然採光による明るい住まい、確かな視野を確保しながら高速で移動する交通機関、いずれも光と板ガラスに密接に関連しながら発達してきました。そして現在も、身近な生活の場で、あるいは生産の場、科学の場で、さまざまに活用されています。代表的な用途は、建築物の窓と自動車の車両、船舶、航空機の窓です。この他、身近なものとしては鏡、額縁、人形ケース、あるいは飾り戸棚等の家具、さらに電子レンジ、液晶表示板、コンピューターのガラス磁気ディスクなどがあげられます。また、自然のエネルギーを利用した省エネルギー機器として、太陽の熱エネルギーを利用したソーラーコレクター（太陽エネルギーの採集装置）の他に、太陽の光エネルギーを電気に変える太陽光発電システムの研究も進んでおり、ここにも板ガラスは欠かせない製品となっています。街に出ると、建物や交通機関のほかに、デパートやホテル、商店などのショーケースや冷凍ショーケースなどの什器に、そしてエスカレーターや階段の手摺、防煙壁、さらに装飾として至る所で板ガラスが見られます。オフィスなどでは、間仕切り、テーブルトップ、複写機にも板ガラスが使われています。また動物園では、魚類の水槽や動物の飼育施設にも板ガラスが使われています。季節の野菜や草花が一年中食卓を賑わしていますが、これらは板ガラスの温室で栽培されたものです。産業用では、機械類のメーター、計器に使われるほか、無塵室、無菌室の窓などにも使われています。このように、板ガラスの用途は多岐にわたり、枚挙にいとまがありません。ちょっと工夫すると、意外な使い方があるのも板ガラスの特長といえましょう。

板硝子協会

〒108-0074 東京都港区高輪1丁目3番13号 NBF高輪ビル4F

TEL 03(6450)3926

[www.itakyo.or.jp](http://www.itakyo.or.jp)