

# ライニングガラス

## Lining Glass

化工機事業部 製品開発室

沢田 雅光

Masamitsu Sawada

This report outlines the history of our lining glass being used for the standard glass of chemical equipment, and also outlines the characteristics of our newly developed #9000 glass.

This new glass is the standard instead of the usual standard glass #3100, #5000 and this glass provides the best corrosion resistance against all acids, water and alkali.

当社設立以来、ガラスライニング機器に用いられてきた、標準ガラスの変遷とそのもつ諸性能、そして、この度開発した新しいガラス#9000について紹介する。

この新しいガラス#9000は、従来の当社標準ガラス#3100、#5000に代わる、標準ガラスであり、高耐酸性、高耐水性、高耐アルカリ性を有す全域高耐食性ガラスである。

### 1. ま え が き

約30年前、ガラスライニング機器として1号機を製作して以来、現在に至るまで数多くのガラスライニング機器を製作納入してきている。その間メーカーとして、ガラスライニング機器の中核部であるガラスの研究に絶え間ない努力をしてきた。

ライニングガラスは、ピーカ、試験管などの一般高耐食性ガラスと異なり、耐食性はもとより、母材である鋼との接合性も具備したものでなくてはならない。加えてユーザー・ニーズに極力応えていくためには、優れた機械的強度、その他様々な性能をもったガラスが必要となった。そうなると一緒に種類のガラスで全ての機能を持たせることは非常に困難であり、自然にガラスの種類も増えざるを得なくなった。

本稿では、これらライニングガラスを当社設立当時まで溯昇り、整理すると同時に、改めてガラスの特性について説明しておきたい。そして最近開発した新しい化工機用標準ガラス#9000を紹介する。

## 2. 当社の化工機用ガラス

### 2.1 標準ガラス

化学機器用耐食性ライニング材としてのガラスは、珪酸や硼酸のような酸性成分を主としており、高度の耐酸性、

耐水性を有しているため、石油化学、医薬、染料、食品等あらゆる分野で使用されてきた。

当社は、ガラスライニング業界のリーダー的存在であり、化工機用標準ガラスの耐酸性、耐水性において、極限ともいえるような性能をもたせた。ところが最近では、耐アルカリ性をも向上させたガラスに対する要望が増えてきた。そして、今では、酸からアルカリまで全域に十分耐え得る標準ガラスでなければならず、新しい時代の標準ガラスとして#9000を開発した。詳細については後述する。

### 2.2 標準ガラスの変遷

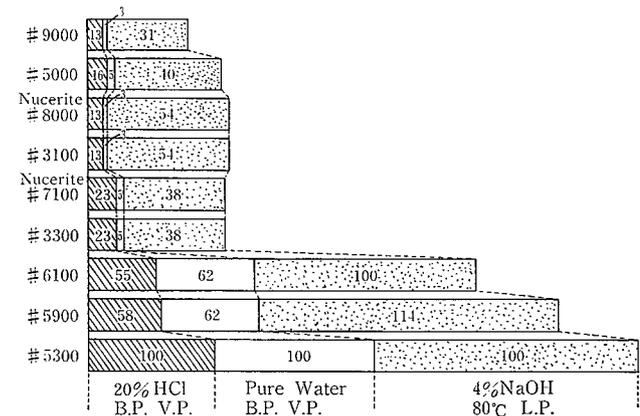
当社が現在まで、標準として使用してきたガラスを、第1表に示す。

設立時の標準ガラス #5300は、 $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ 系ガラスで、トータルアルカリ成分15%の常識的なガラスであった。特に大きな特長はないが、熔融軟化性に優れ、スムーズできれいな表面状況を示した。

#5900は、#5300を改良して、耐熱衝撃性、耐酸性、耐水性を大幅に向上させ、別名耐酸珪瑯といわれていたガラスライニングの位置付けを明確化したガラスであったといえる。

#6100は、#5300、#5900の耐食性を改善した当時としては画期的なニューガラスであった。

この頃までは、 $\text{B}_2\text{O}_3$ 成分のリッチな硼珪酸塩ガラスが



B.P.: Boiling point V.P.: Vapor phase L.P.: Liquid phase

第1図 標準ガラスの腐食比

Fig. 1 Corrosion rates of standard glasses

第1表 標準ガラスの使用変遷  
Table 1 Transition of standard glass

	'55	'60	'65	'70	'75	'80	'85
Glass	#5300	#5900	#6100	#3300	#3100	#5000	#9000
Nucerite			#7000	#7100	#8000	#8100	

主流であったが、より厳しい腐食条件に耐え得るガラスとして、 $ZrO_2$  を含む珪酸塩ガラスを、コンピュータを用いて成分設計を行い、#3300を完成させた。このガラスは、耐食性が全体にわたり非常に大きく向上しただけでなく、ライニングの作業性も優れたバランスの良いものとなった。

#3100は、日増しに強くなった耐酸性、耐水性への要求に応えるため、特に耐酸、耐水性の向上を狙って研究した結果、生まれたガラスであり、 $SiO_2$  成分を最大限に含んでおり、ライニング出来るガラスとして限界ともいえる性能をもたすことが出来た。

一方では、酸、アルカリ両方の腐食条件にガラスライニングが用いられるようになり、耐アルカリ性も具備したガラスが必要となった。そこで開発されたものが#5000であった。このガラスは、耐アルカリ用成分として良く知られている $ZrO_2$  を、ライニング作業性を損なわない範囲で最大量加えたものであり、耐酸性から耐アルカリ性まで、広範囲の腐食環境に耐えることができる。

しかし、#3100並の耐酸性、耐水性を維持して耐アルカリ性も向上させるために、 $SiO_2$  や $ZrO_2$  の添加量を増すことは、作業温度が著しく上昇するのみならず、熱膨張係数が小さくなり、作業性の悪さによる、機器としての性能低下、例えば、R部のガラス剥離のし易さというような問題が残る。

新しい標準ガラス#9000は、 $ZrO_2$  の他に特殊な成分を加えることによって、これらの問題を全て解決し、耐食性は、#3100の耐酸性、耐水性をもち、かつ耐アルカリ性は#5000より優れた、今後標準として使用していくのにふさわしいガラスとなった。

以上述べたガラスの他に、当社では、耐機械的強度に優れたセラミックライニングとして“ヌーセライト”という結晶化ガラスを、攪拌翼、パッフル等のアクセサリー類に標準としてライニングしてきた。

#7000は別名「SA-12」,「SA-40」,「SA-72」という名称のヌーセライトで、1962年から使われ始めた。その後、ヌーセライトに標準ガラス並の耐食性を付与させた、万能ヌーセライトが#7100であり、現在に至っては#8000である。これらの詳細については、次項で説明する。

尚これら標準ガラスの耐食性の比較を、第1図に示す。JIS及びISO規格に準じた耐食試験を行ない、それから得られたデータを#5300を100として、比に換算し直して表わしている。棒グラフ中の数値が小さいほど、棒グラフが短い程、耐食性が優れているということである。

### 2.3 ヌーセライト

ガラスライニングは通常のガラスに比べ、強化されているため、数倍割れ難くなっており、割れた時のダメージもはるかに小さいが、それでもガラスは割れるというイメージが強い。そこで“割れないガラスを”というニーズに応じて開発したものがヌーセライトである。「ヌーセライト(Nucerite)」という語は、当社の登録商号であって、ライニング可能な結晶化ガラスを意味している。

結晶化ガラスは、約28年前、アメリカのコーニング社が“パイロセラム”という“割れ難い”窯業材料として発表したものであり、一般的にはガラス中に目的に応じた結晶



写真1 結晶化ガラスの走査型電子顕微鏡写真  
Photo.1 SEM of crystallized glass

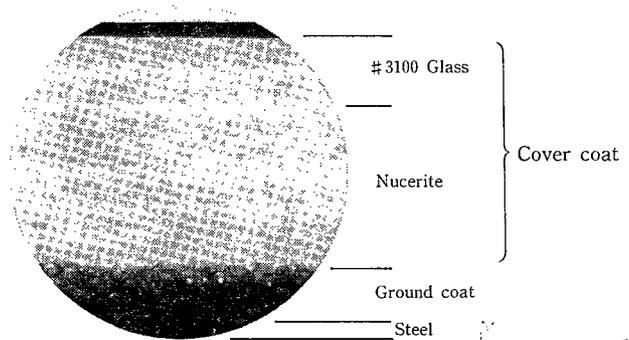


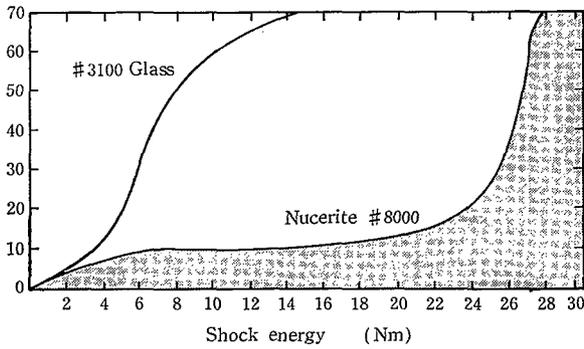
写真2 ヌーセライト#8000の断面写真  
Photo.2 Cross section of nucerite #8000

核形成剤を添加し、それが熱処理されることによって、結晶が生成される。ガラスマトリックス中に、 $Li_2O-SiO_2$  や $Li_2O-Al_2O_3-4SiO_4$  などの、多数の微細な結晶が存在した状態のものである。

言いかえれば、ガラスとセラミックスの中間体であり、特長として、一般に耐衝撃性、耐磨耗性、熱伝導率が通常のガラスに比べて非常に優れている。

当社はこれに遅れることわずかにして、ライニング用結晶化ガラスを開発し、実績を積み重ねてきて、現在の標準ヌーセライト#8000に至っている。ヌーセライト#8000は写真1のような結晶を含む結晶化ガラスを写真2に示すようなシステムに採用している。すなわち、上引層が結晶化ガラスのヌーセライトと、高耐食性ガラスの2種類によって構成されている。従ってガラス面への機械的衝撃は、ヌーセライトの層で食い止め、腐食に対しては、最上層の高耐食性ガラスによって保護されるわけである。このヌーセライト#8000の主な特長は次の通りである。

- 1) 耐衝撃性は一般耐食ガラスの約4.5倍
- 2) 万が一破損した場合でも、破損面積が通常ガラスに比べて小さいので、補修し易い。
- 3) 耐食性は当社標準高耐食ガラスと同等
- 4) 耐熱衝撃性は当社標準高耐食ガラスと同等
- 5) 従来のヌーセライトに比べ、ライニング施行性が大幅に改良されたので、品質が向上するだけでなく、攪拌翼やパッフル以外の本体への施行も可能になった。



第2図 衝撃エネルギーとガラス剥離部径との関係  
Fig. 2 Relation between shock energy and chipped diameter of glass

ヌーセライト#8000とガラス#3100の落球衝撃試験の比較データを第2図に表わす。

試験方法は、一定の重量、大きさの鋼球を、一定の大きさのテストピースのガラス側に落下させるものであり、落高さの変位を衝撃エネルギーの大きさに換算した。その結果、第1図で明らかなように、#3100は6 Nm (3の鋼球を20 cmの高さから落下させたとき)より、ガラスの剥離部の径が急に大きくなるのに対し、ヌーセライト#8000は27 Nm (90cmの高さ)となり、#8000の方が衝に対して優れていることが分かる。

#### 4 最近の特殊用途ガラス

##### 4.1 超低温用高耐食ガラス

これまで当社は、医薬品製造分野の低温使用向けガラスライニング機器として、使用温度 $-80^{\circ}\text{C}$ までの要望に対しては、ガラスライニング用素地金属に、SLA33A及び5%Ni鋼等の低温圧力容器用鋼板を用いて対処納入してきた。

しかし近年、これまでの使用温度 $-80^{\circ}\text{C}$ より、さらに低温で使用できるガラスライニング機器の必要性が高ってきている。そこで素地金属に、オーステナイト系ステンレス鋼を用いたガラスライニング機器を開発することによって、約 $-200^{\circ}\text{C}$ 迄の使用を可能とした。

このステンレス用高耐食性ガラスは素地金属として、熱膨張係数が普通のガラスライニング用鋼に比べて、大きいオーステナイト系ステンレス鋼を用いているため、今迄のような、ライニングガラス並の熱膨張係数では、特に低温での機械的、熱的強度が保持できない。そのために、熱膨張係数を大きくするようなガラス組成になっている点が長である。

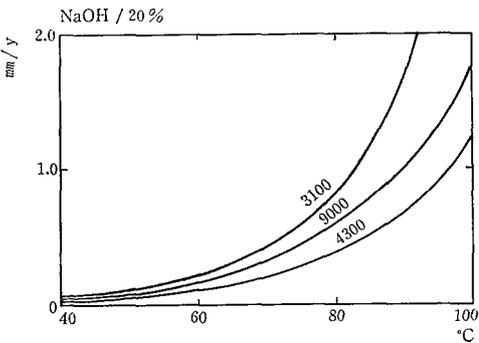
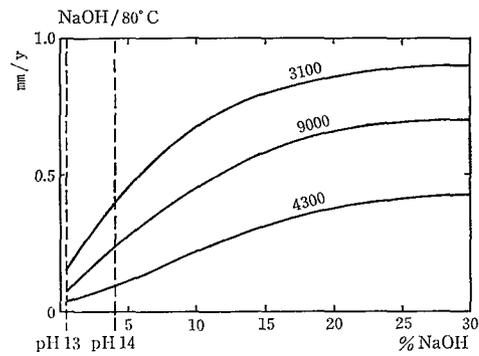
以下にガラス及びガラスライニング機器としての主な性を記す。

1) オーステナイト系ステンレス鋼の前処理方法と、専用の下引ガラスの開発によって、従来のガラスライニングと同等の密着度が確認された。

2) 耐食性は、旧当社標準ガラス#6100相当であってJIS規格の、化学工業用ガラス「1種」として十分使用できるものである。

3) 使用可能温度は、約 $-200^{\circ}\text{C}$ ~ $200^{\circ}\text{C}$ であり、耐熱衝撃性は、当社標準ガラスと同じである。

4) ガラスの機械的衝撃強度は、当社標準ガラスより優れ



第3図 #4300の耐食性  
Fig. 3 Corrosion resistance of #4300

ている。特に低温になるほど向上する傾向がある。

##### 2.4.2 耐アルカリ用ガラス「#4300」

前述したように、主に酸性成分より成るガラスは、アルカリ溶液に対しては、酸に対するほど耐食性は強くなく、特に温度、濃度の上昇には加速度的に腐食が顕著になるため、一般に高温、高濃度のアルカリ性雰囲気中においては、金属材料が多用される。

しかしながら金属を嫌う内容物では、ガラスの必要性が出てくる。

当社の#4300は、このような要求に応じて、特に耐アルカリ性を向上させたガラスである。その性能を第3図に示す。上のグラフは年間腐食率と濃度、下のグラフは温度との関係を表わしている。

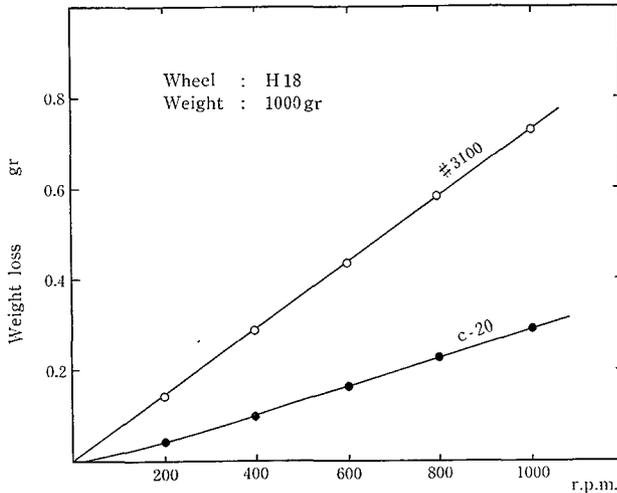
#4300の主な用途としては以下の通りである。

- 1) 金属イオンによる汚染を嫌うアルカリ物質
- 2) 金属との接触によって起る変色を嫌うアルカリ物質
- 3) 金属との接触で敏感に影響する高分子のアルカリ物質
- 4) アルカリ域では、缶体金属の酸化、還元が不安定になる場合

##### 2.4.3 耐磨耗性ヌーセライト「C20」

前述したように、ヌーセライトの構成成分は、ガラスと無数の微細な結晶であり、これらの結晶はガラスマトリックス中に適当に分布している。結晶にはいろいろなものがあり、それぞれによって、ヌーセライトとしての機械的、物理的、化学的性質が異なるものである。

ヌーセライトC20は、通常のガラスに比べて、耐熱衝撃



第4図 スーセライトC20の耐磨耗性  
Fig. 4 Abrasion resistance of nucerite C20

性も優れているが、特に耐磨耗性に富んでいるので、耐磨耗性を要求される部分に使用している。標準ガラスとの耐磨耗性の比較を第4図に示す。この試験はテーバーの磨耗試験機により、回転しているテストピースのガラス側に砥石を当てて、ガラスを強制的に磨耗させる方法である。縦軸が磨耗によって減少したガラスの重量で、横軸はテストピースの回転数を示している。

スーセライトC20の方が、#3100より約2倍優れていることが理解できる。

但し施行性、耐食性は標準耐食ガラスより劣っているので、使用出来る範囲が狭い。当社では、ノースリーブタイプの攪拌翼の軸頭部にのみ、標準仕様として使っている。

#### 2.4.4 トリーターロール用ガラス「T-31」

近年プラスチックフィルム、紙、金属箔などの印刷性、接着性を改良するために、電気処理法の一つとして、コロナ放電処理が広く採用されている。ガラスライニング製トリーターロールは、このコロナ放電用受ロールとして、多くの長所を有しているので、従来の樹脂製、ゴム製のロールに変わるものとして、非常に脚光を浴びている製品の一つである。

トリーターロールに要求される主な性能としては

- 1) 精密な寸法精度
- 2) 高い硬度で傷が付かない。
- 3) 高温に耐え得る。
- 4) 放電時に発生するオゾンに侵されない。
- 5) 常温から高温まで、安定した高い誘電定数を示す。
- 6) 高い耐電圧強度を有する。
- 7) 平滑な表面で製品を傷つけない。

これらの要求事項に対して、ガラスライニングはほとんど満足できるものであるが、なかでも特に、電気的特性、表面の平滑度を改良したガラスがT-31である。

各種のロールカバー材の誘電定数を第2表に示す。

#### 2.4.5 メゾンデ pH 電極用ガラス

化学工業において、反応の制御等には、一般に pH 計が用いられるが、運転中の反応釜中の pH 値を直接測定することは、熱的、圧力的、機械的にも非常に厳しい条件となり、不可能な場合が多い。メゾンデ pH は、これらの諸問

第2表 ロールカバー材の誘電定数

Table. 2 Dielectric constant of roll cover material

Material	Dielectric constant
Natural gum SBR	2.5~4
Silicon gum	3~5
Epoxy resin	3.5~5
Hyperon	4~6
Chloroprene gum	5~8
Standard glass	6~7
「T-31」	8

題を解決したガラスライニング製 pH 計であり、従来のガラス膜電極では不可能とされていた条件下においても、pH 値の測定を可能にした。

pH 計は、被測定溶液中の水素イオン活量の大きさに比して、電極部に発生する電位を測定するものであり、電極部のガラスは、必然的に抵抗値の小さなものが要求される。メゾンデ pH は構造のみならず、pH 測定に必要なすべての電気的特性と、耐食性を備えた電極用ライニングガラスに大きな特長をもっている。

### 3. ライニングガラスの評価

今迄述べてきたガラスは、全てライニングガラスであり、常に素地金属との接合性、化学的性能、機械的性能が考慮されている。このことはガラスライニングの基本原則であって30年経過しても変わっていない。但し、それらの評価の方法、精度は年々向上してきている。以下に現在のライニングガラスの評価について記述する。

#### 3.1 残留圧縮応力

ガラスライニングや珪瑯の、基本原理である、金属とガラスの結合のメカニズムというのは2種類ある。1つは機械的結合であり、もう1つは化学的結合である。

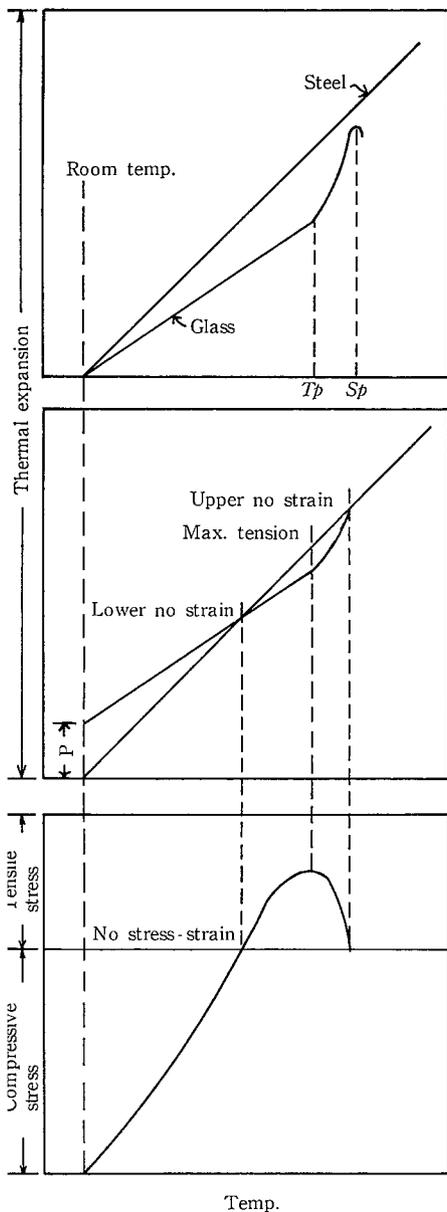
前者は素地金属の前処理として、酸洗、サンドブラストを行なって素地に凹凸を形成するために、その表面で溶融したガラスが凹部に入り込み、冷却固化することによって、くさび状の結合をするというものである。

後者については、素地の Fe イオンが、ガラス中に含まれている CoO, NiO, MnO 等と高温中で  $Fe + CoO \rightarrow FeO + Co$  なる反応を起こし、鉄珪酸塩の中間体を形成し結合することを意味している。

このように結合されたガラス自体が、一般のガラス単体に比べて、はるかに高強度である理由は、熱膨張特性の異なる2種類の物体が、結合、固化したことによってガラス側に内在された残留圧縮応力による。すなわち、急冷操作によって得られる、一般の強化ガラスと同じである。

ライニングされたガラスが、機械的応力に対して、素地金属の降伏点まで割れずに耐えるのは、この残留圧縮応力に起因する。

最近のライニングガラスは、平均約20 kg/mm<sup>2</sup>の残留圧縮応力を有するように設計されている。そして、この値を支配する要素としては、ガラスのライニング厚み、ライニング部の形状もあるが、主として、素地金属とガラスそれぞれの熱膨張特性であることは前述した通りである。



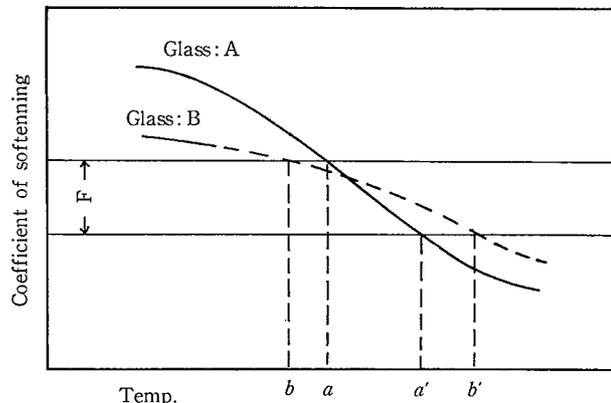
第5図 ライニングガラスと素地金属の熱的特性  
Fig. 5 Thermal property of lining glass and steel

## 2 Stress-Strain

それでは、その残留圧縮応力が内在されるプロセスと、その状態でのライニングガラスの熱的特性について説明する。

第5図の上段のグラフは素地金属(Steel)とライニングガラス(Glass)の、常温から500°C付近までの熱膨張曲線を示している。

一般にGlassはSteelより熱膨張係数が小さく、転移点( $T_p$ )、軟化点( $S_p$ )が存在することが特長である。このような特性をもつGlassの粉末がSteel上において、軟化点以上の800~900°Cの高温で焼成された後、冷却され、徐々に粘性が高くなり、著しく高くなる軟化点付近からはSteelと異なったGlass特有の収縮が始まる。(第5図中段のグラフ)この点が高無歪温度(Upper no strain temp.)であり、この温度から転移点まで、急激に収縮が起こるた



第6図 ライニングガラスの溶融軟化曲線  
Fig. 6 Softening curve of lining glass

めに、Glassに引張応力(Tensile stress)が働く。そして、転移点付近において引張応力が最大となる(Max. tension)。転移点以下常温までは、ほぼ直線的に、Steelより小さな収縮率で冷却されていく。この時、Glassに働いている応力が、引張から圧縮に変化する温度が低無歪温度(Lower no strain temp.)である。

このような変化を経て、最終的に常温迄冷却されたGlass中にはPなる量の圧縮歪が残ることになるわけである。第5図下段のグラフは、残留応力と温度の関係を示したものである。

それでは、ガラスライニングにとって、これらの熱的特性がどのような影響を及ぼすかを考察してみる。

まずPの値が小さすぎると、ライニングガラス中の残留圧縮応力が小さくなり、機械的、熱的衝撃に対して弱くなる。一方大きすぎると、ガラスとしての強度は向上するが、凸部にライニングされた場合、剥離し易くなる。

Max. tensionが大きくなると、焼成を繰り返す際の昇温、冷却の過程で、一旦ライニングされたガラスが、引張応力によって割れることになる。特に昇温時に割れたライニングガラスが、焼成され、その割れた部分が、再度溶けてふさがり、線状の跡になって残った状態を「ヘヤーライン」と呼んでいる。ヘヤーラインはガラスライニングによく見られるものであって、最終的には欠陥とならない場合が多いが、作業性という点からみれば問題である。Max. tensionは小さいほど良い訳である。同時にあまり高温側にならないほうが良い。この理由は、第5図には図示されていないが、Steelは冷却過程の約700°C付近において、結晶構造の変化による異常膨張が起こる。この膨張とライニングガラスの急激な収縮が重なり合ると、高い確率で割れて、そのまま常温まで冷却されてしまうからである。

## 3.3 溶融軟化性

ライニングガラスを焼成する温度は、下引ガラスの場合は、素地金属との密着率が最高になるような、上引ガラスであれば、焼成後のガラス表面が滑らかになり、かつ一定時間ホールドしても垂れ落ちてしまわないような、溶融軟化率によって決定される。特に上引ガラスの場合は、何回も繰り返し、施釉、焼成されるので、初回に焼成された上引ガラスが、流動しない様に毎回少しずつ温度を下げて焼成

される。従って、広い焼成温度範囲であることが望ましい。

当社の上引ガラスの溶融軟化率は、そのガラス粉末を、プレスでブロック状に押しかためて成形したものを、各種温度で焼成し、(ブロックの幅)/(ブロックの高さ)で表わし評価している。

第6図は、ライニングガラスの溶融軟化率(縦軸)と温度(横軸)の関係の一例を示したグラフである。

一般に焼成温度での、ライニングガラスの粘度は、常温中の水あめ程度で、 $10^5 \sim 10^6$  CPであり、溶融軟化率としてFで示される範囲とする。このときの Glass: Aの焼成温度a—a', Glass: Bの場合では b—b' という範囲となる。

すなわち、Glass: Bの方がGlass: Aより焼成温度範囲が広く、作業性に優れていることが判る。

これらの違いは、主にライニングガラスの酸化成分の組成によって支配されるものであり、熱膨張特性、耐食性以外にガラスの成分設計をする際の、重要な条件になる。

### 3.4 耐食性

ガラスライニングは琺瑯と異なり、優れた耐食性を有していなければならない。このことはJ I S R 4201において規格されている。それによると、化学工業用として使用されるライニングガラスは、「1種」に属するものであり、耐食性としては、塩酸と水酸化ナトリウムの試験を義務づけている。耐塩酸性は  $3.4 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{d}$  ( $\equiv 0.5 \text{ mm/y}$ )、耐水酸化ナトリウム性は、 $7.2 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{d}$  ( $\equiv 1.1 \text{ mm/y}$ ) 以下の腐食率のガラスでなければならないとしている。( )内の数字はI S O規格の場合の表示方法で、年間腐食率を示す。当社では、カタログ等において、この年間腐食率で表わす場合が多い。勿論当社の化工機用ライニングガラスは1種に属するものであり、I S O規格にある耐水性をも十分満足している。そして、特にある腐食液に対し年間腐食率が  $0.1 \text{ mm/y}$  以下になるような使用条件下においては「Aランク」と称し、1年365日を毎日24時間フル運転をして、5年以上耐え得ると判断している。 $0.1 \sim 0.2 \text{ mm/y}$ の条件では、「Bランク」と称し、2~5年の寿命であろうと推測している。これ以上の厳しい条件では耐食用ライニングガラスとしての使用は「不適」と考えられる。

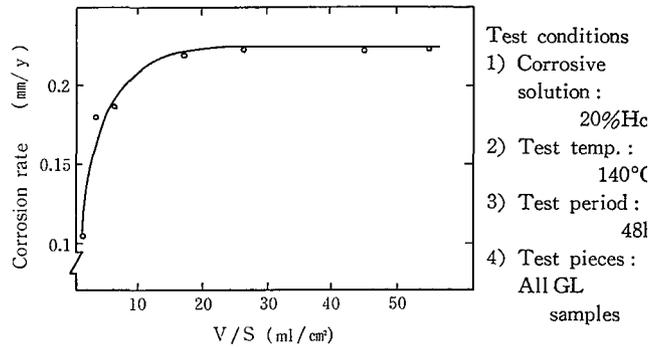
耐食性に有効なガラス厚みは、以上のことから、最小値  $0.5 \text{ mm}$  が必要である。

一般的には、 $1.2 \sim 1.5 \text{ mm}$ の厚みにライニングしており、Aランクの使用条件であれば、十分に5年以上耐え得るものである。

### 3.5 耐食データに及ぼす溶出シリカの影響

ライニングガラスの耐食性を評価する場合、J I S等の規格に準じて行なうことは当然であるが、それ以上に実際の使用条件に少しでも近い条件下で試験しておくことが重要なことである。事実、薬液の種類、濃度、温度などによって、腐食の形態もずいぶん違うものである。少なくとも、ライニングガラスとして使用の可否を決定し易くするためには、高温耐食試験は欠かせないものの1つである。

高温耐食試験については、何ら定められた方法がある訳



第7図 腐食率とV/Sの関係

Fig. 7 Relation between corrosion rate and V/S

ではなく、当社においても独自に開発した装置を用いて、試験を行なっている。この試験法を検討した時に、多くの知見を得た。その1つがV/S値と腐食量の関係である。Vは腐食液の量であり、Sは腐食されるライニングガラスの面積である。

酸性溶液の液相部のガラスが、腐食によってミクロンオーダーの深さまで浸食されると、腐食液中には、ガラス中の各成分が、ガラス組成比で、溶出されてくる。つまり主成分である  $\text{SiO}_2$  が多量に溶出され、腐食液の量次第では、飽和状態になってしまふ。そうすると、時間に関係なく腐食が進行しなくなり、得られるデータに信頼性がなくなる。一例を第7図に示す。

このグラフから明らかなように、48 hrの試験の場合、V/Sが約20以下においては、溶出した  $\text{SiO}_2$  によって腐食が緩和され、年間腐食率が小さくなっている。酸性溶液の液相部のガラスの耐食試験を行なう時は、V/Sを20以上になるような条件を設定する必要があるということを示している。

V/Sが20以下であっても腐食時間が短かければ、溶出シリカの影響の無いことも確認できたが、この方法においては、腐食減量が少なく、他の要因による誤差が大きくなり、適当な試験条件とはいえない。

## 4. 新しい標準ガラス #9000

### 4.1 #9000の特長

近年、化学工業界にもファイン化指向が高まるに伴ない、酸性の腐食条件中に中和・洗浄などの為、アルカリ性物質を使用することが増えてきた。また、1つの機器で種類かの反応を行なうマルチパーパスの機器の要求などがあり、アルカリ性に対しても強いライニングガラスの開発が必要となった。

この場合、ライニングガラスの耐アルカリ性を向上させるために、最も簡単に考え出される方法は、ガラス中のアルカリ成分を増すことである。ところがアルカリ成分を増すと、相対的に酸性成分が減少し、耐アルカリ性は向上するが、逆に耐酸性が劣る結果になる。耐酸、耐アルカリ両方を向上させることは原理に反し非常に困難なことである。しかしながら、高耐酸性を維持しつつ耐アルカリ性をも向上させることがライニングガラスにとって不可欠な条件となってきた。

第3表 耐食データ  
Table. 3 Corrosion date

	Unit : mm/y		
	20% HCl B.P. V.P.	Pure water B.P. V.P.	4%-NaOH 80°C L.P.
#3100	0.04	0.01	0.35
#5000	0.05	0.02	0.25
#9000	0.04	0.01	0.20

そこで考えられる成分が  $ZrO_2$  である。 $ZrO_2$  について、コンクリート補強用耐アルカリガラス繊維の、中核をす成分としてよく知られており、実績も多い。ライニングガラス組成にも、この  $ZrO_2$  を増せば、耐酸性を維持しながら、耐アルカリ性を向上することができる。最近の耐アルカリ用ガラスというのは、この種のガラスに属するものがある。 $ZrO_2$  は耐食性向上には、非常に効果的であるが、面、ガラス溶解温度、焼成温度の上昇、熱膨張係数が小さくなることによって、残留圧縮応力が大きくなり過ぎ、などの問題がある。そのためにガラスとしては、必然に増加量が制約され、ひいては耐食性の向上にも限界がはじめる。無理に増加したものでは、作業性の低下により機として使用中にガラスが剥離するなど、トラブルが発生の可能性が高く、装置としての品質面に問題が残る。これら諸問題を全て解決し、作業性は従来の標準ガラスに良好で、かつ耐食性は酸から水、アルカリに至るまで域において、更に一段と優れたガラスが、新しい標準ガラス#9000である。以下に主な特長をまとめる。

- ）耐酸、耐水性は最も優れている #3100 同等以上で、耐アルカリ性は約2倍上回る。
- ）ライニング中に有害な分相、結晶化が起こらず、ガラスとしての安定性に富む。
- ）ヘヤーライン、毛穴等が少なく、作業性が良い。
- ）これらの結果、化学的にも物理的にも優れたガラスライニング機器が製作でき、寿命の延長につながる。

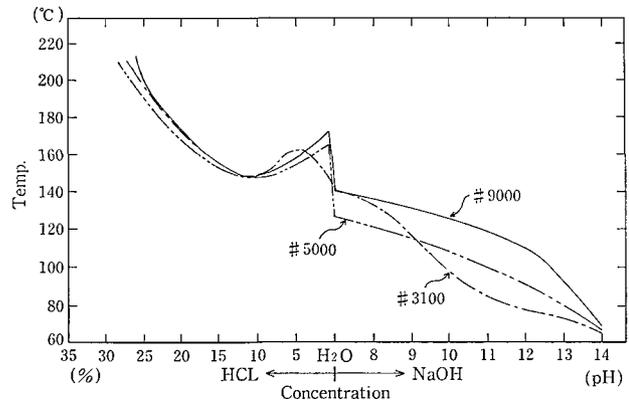
## 2 耐食性

JIS及びISOの規格に準じて、行なった試験結果を3表にまとめる。

この結果より、耐酸性（耐塩酸性）、耐水性は#3100と同様に維持して、耐アルカリ性が大きく向上していることが分かる。 $ZrO_2$  を耐アルカリの主成分として成し得た用ガラス #5000 よりも、全体に優れていることも理解できる。

これらの性能を、更に実用的に表現したグラフを第8図示す。

このグラフは、各ガラスが「Aランク」として使用出来



第8図 使用限界温度曲線(≤0.1mm/y)  
Fig. 8 Temp. curve of utilization limit (≤0.1mm/y)

る温度と、塩酸濃度、あるいはアルカリのpH値との関係で示したものである。耐酸、耐水性を追求した#3100は耐アルカリ性が若干劣っているが、#9000は、全域において、最高の耐食性を有している。

## 4.3 その他の性能

### 4.3.1 Stress-Strain

#9000はMax. tension が小さくなっている。このことは前述したように、焼成作業時の昇温、冷却過程でのガラスに加わる引張応力が、小さくなったということであり、ヘヤーラインの発生が減少する。そのため、作業性の向上により、機器としての品質の向上にもつながるものである。

### 4.3.2 耐熱衝撃性

#3100、#5000と同等である。

### 4.3.3 その他

機械的衝撃性、物理的性能等は従来のガラスと同一である。

## 4.4 用途

#9000は、#3100、#5000同様、全ての機器への適用も可能であるが、顧客の要望に応えるべく主に、高耐食性を必要とする分野へ利用していく予定である。

ソーセライト #8000 の最表層の高耐食性ガラスも白色の#3100から白色の#9000 (#9000 P F) に代えることが可能で、この場合は「#8100」と呼称される。

## 5. むすび

ライニングガラスは耐食性のみならず、作業性を向上させて、最高の状態で仕上げ、機器としての性能を100%発揮させなければならない。#9000は、このような観点に立って開発したガラスであり、ユーザー・ニーズを完全に満足させるものであると確信する。