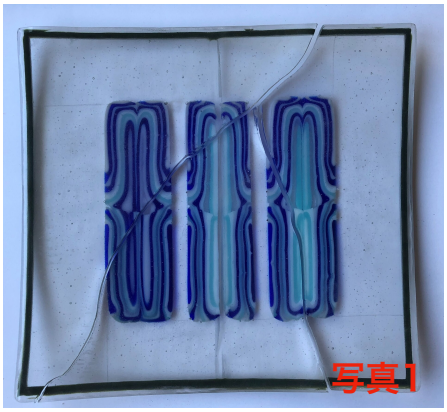
フュージング 自分のダルを作る為の資料

2019年5月

この資料はJujo News 5月号のより詳しい情報を記載した物です。温度管理を詳しく説明しているだけでなく、ダムの組みや作品の四角(よつかど)の処理など細部に渡ってご紹介いたします。 長い資料になりますがじっくりお読みいただきますようお願いします。



1.よく起こるフュージングの問題

左の写真(写真1)をご覧ください。これは徐冷が適切で無かったために割れたお皿です。

いつ割れたか：まず、割れた原因を説明する前に、いつ割れたかの判断についてお話しします。焼成終了後にガラスが割れているのを見た時に、「温度を上げる段階で割れたのか、それとも温度を下げる段階で割れたのか」を見分ける方法があります。これは次に焼成する時にとても重要な情報です。なぜならどこで割れたかを見つけることで、次の焼成プログラムの修正点を決めるからです。

例えば、写真1は温度を下げる段階、すなわち徐冷の段階で割れています。割れた後も温度は下がるので、割れた箇所が尖っています。これがもし温度の上昇の段階で割れていたら、割れた後も温度は上がりガラスは溶けるので、割れた箇所がくっつくか、割れた縁が熱で溶けて丸味を帯びています。このようにして、どの段階で割れたかを観察します。

なぜ温度を下げる段階で割れるか：徐冷の段階では、熱はガラスの外側から冷めて行き、徐々に内側が冷めて行きます。冷めるスピードが早すぎると、外側と内側で温度差が大きくなって歪みが生じガラスは割れます。これを ”熱割れ“ と言います。また、徐冷の段階に入る前に一旦ガラス全体(表面全体でなく、内側まで含めて全体)の熱を均一にしておきます。これを ”アニール・ソーク“ (徐冷キープ) 言います。

何℃でどのくらいキープするか：アニール・ソークの温度(Bullseye社のガラス)482°Cとメーカーでは発表しています。数字が細かく覚えにくいので切りの良い数字で、**”485°C“** と覚えると良いです。 では、何分キープをすれば良いか？ それは、ガラスのサイズ、特に厚みによって変わります。 例えば、3mm厚のガラスを2枚重ねて6mmで焼成する場合、45分〜60分くらいキープをします。3枚重ねて9mmの場合は、60分〜75分くらい。 と言うように厚みに応じて変えて行きます。更に詳しく知りたい方は、Bullseye社HPの “Annealing Chart” をご参照ください。 **http://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/TechNotes/technotes_07.pdf**

なぜ温度を上げる段階で割れるか：温度が上昇する段階ではガラスは外側から熱くなっていき、徐々に内側に熱が伝わってきます。この過程で温度の上昇スピードが早いと、ガラスの内外で温度差が大きくなって、歪みが生じガラスは割れます。これも「熱割れ」の作用です。ガラスの内外の温度差をなるべく小さく抑えておくために、最初の段階でゆっくりと温度を上げるのが好ましいのです。

何℃で温度を上げて行くか：これも作るガラスのサイズ、厚さによって変えていきます。初期化熱の段階で厚さが何mmの時に何度で温度を上げるかの表がメーカーのHP上で見つけられませんでしたので、個別の焼成の資料になりますが、例えば、6mm厚の場合:250°C一280°C/h 、9mmの場合:180°C〜200°C/h で設定します。この資料の後でも触れますが、今回のピースは22mm厚なので120°C/hで温度を上げていきます。


写真2

空気の問題： 写真2は、焼成中にモールドとガラスの間の空気が逃げ場を失って熱で膨張し弾けた例です。スランピングモールドの底には空気が抜けるように小さな穴が空いています。初期段階でゆっくりと温度を上げ、ガラスが徐々に曲がって行き、空気を小さな穴から押し出すようにしてモールドの底に空気が溜まらないようにします。 今回の原因は、上昇温度のスピードが早過ぎた事と、スランピングの設定温度が高過ぎたため溶けたガラスがモールドの穴を塞いでしまった事です。またガラス絵の具の焼き付けとスランピングを同時に行なおうとした結果でもあります。(到達温度700℃ キープ15分)


写真3

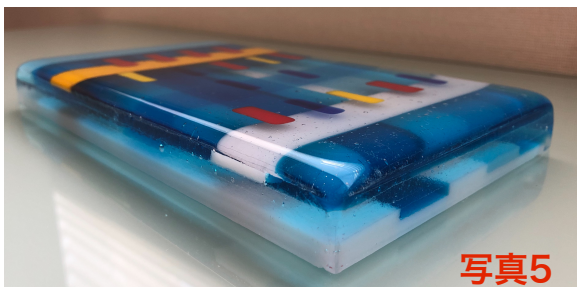
この現象避けるためには： まずは温度をゆっくり上げる事です。次にスランピングの温度を低めに設定し、キープ時間を長くして曲げる事が重要です。さらにスランピングと絵の具の焼き付けを別々に行う事です。なぜなら、二つの事がらの温度帯が異なるからです。スランピングは基本的に630℃〜680℃の温度帯を使用します。今回使用したガラス絵の具は、商品番号91806 ガラスライン と言う商品で、焼き付けの温度帯は720〜810℃です。

写真3は同じモールドで焼き直し成功した例です。始めに3mm厚のガラスをサークルカットした物を2枚用意し、その上に絵付けをしました。それをフルフューズ(805℃)で一度焼成してから、640℃で20分キープしてスランピングの完成です。空気の問題はスランピング時のみに起こる現象ではありません。


写真4

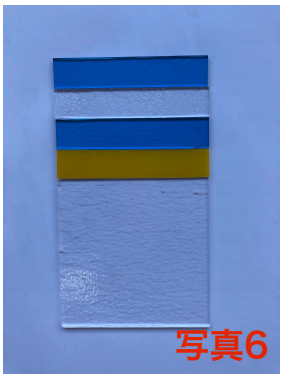
異なる種類の空気の問題： 写真4は、3mm厚のガラスを50cm角にカットし黒のパウダーを乗せてフルフューズで焼成した物です。ご覧のように空気が膨らんでガラスが盛り上がっています。ここでは少し面白い事が起こっています。パウダーの乗せ方が均一で無く、パウダーの量が場所によって違っています。パウダーの多い所の重量が少ない所よりも重くなり、ガラスが溶けて行く過程でパウダーの多い箇所が重しとなり、パウダーの少ない箇所のガラスの下で空気が膨らみました。またガラスとパウダーだけが要因ではなく、棚板に見た目では分からないほどの微妙な凹みがあり、凹んだ箇所に空気が入り込んだ事も要因の一つになっています。 これもやはり上昇温度のスピードが早過ぎたために起こった現象だと考えられます。この現象を避けるには、やはり初期化熱の段階でゆっくり温度を上げる事です。今までの経験から150-160℃/時間で上げると良いでしょう。

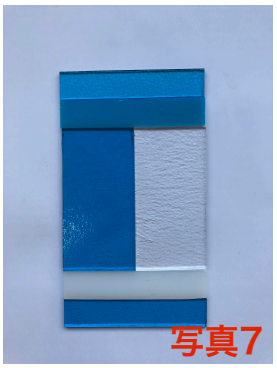
2. 22mmのダルの作成

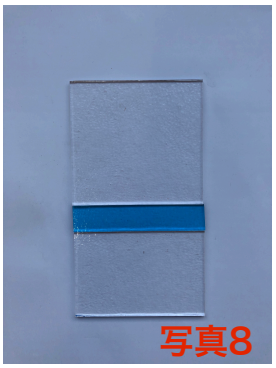

写真5

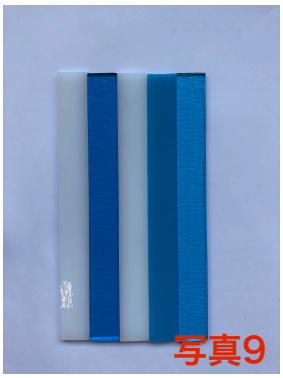
上記で記した熱割れや空気の問題を考慮しながら、22mm厚のガラスを焼成する手順を説明していきます。ここで焼成するのは、BUF(3mm)やBUT(2mm)を重ねて焼成しています。焼成後の厚みが22mmになります。模様が入ったダルを作ると思っていただければ良いです。作るサイズは：L183 x W103xT22mm です。
写真5

ガラスのカット　今回は直線のみで作成してますが、カットする時は丁寧にカットし、ルーターを極力使用しないのが好ましいです。ルーターを使うと削った箇所が焼成後白く濁ったようになり、せっかくの作品の見た目を損なってしまいます。また、ルーターがけは思ったよりも時間がかかるので、作業効率の面からもカットだけで済ませるのが良いでしょう。次の写真は重ねる順番を考えながらカットしたガラスの写真です。 (写真6〜9)


写真6


写真7


写真8


写真9

この他に :

L180mm x W100mmxT3mm クリアーを3枚

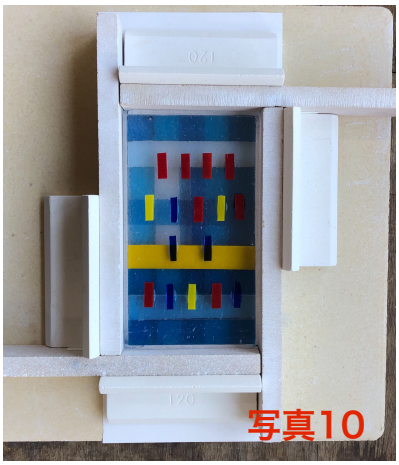
L180mm x W100mmxT3mm 白を1枚

を用意します。これらを重ねて焼成していきます。重ねる順番は特にルールはありませんが、今回は白のガラスを一番底に来るようにし、クリアーのガラスを間に入れて行きます。感覚で積み重ねて行くのも楽しいです。次に、側面に置くガラスをカットしていきます。

L103mm x W16mm x T3mm を2枚

L183mm x W16mm x T3mmを2枚

Lが103mm と 183mm にするのとWを16mmにするには理由がありますが、後ほど説明します。


写真10

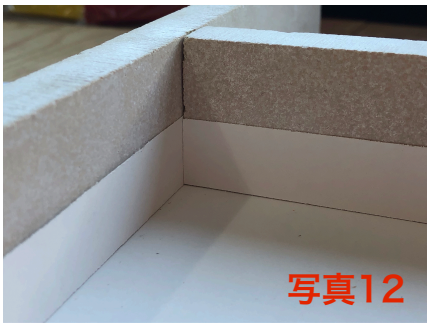
ガラスをキルンの棚板の上で積み重ね、焼成の準備をします。

ダムを組む(ガラスの形を保つ)　ガラスはその性質上熱を加えると(フルフューズの温度下で)6mm厚になろうとします。ここで注意したいのは、「6mmになる」ではなく「6mmになろうとする」です。例えば、3mm厚のガラスを804℃で焼成すると、ガラスは6mmになろうとして上に膨らみ、その分縮みます。6mm以上、例えば12mmのガラスは6mmになろうとし、広がります。6mmのガラスは熱を加える事で角は丸みを帯びますが、形はほとんど変わりません。今回の22mm厚のガラスは形をそのまま残したいので、ガラスが広がらない様に耐熱性の板で囲います。その囲いを「ダム」と呼びます。なぜダムと呼ぶかと言うと、ただ囲うだけでなく、ガラスが溶けて広がろうとする作用をせき止める役割をするからです。写真10はガラスを積み重ねて、ダムで周りを囲った写真です。耐熱性の板で囲うだけでは、ガラスが溶けて広がる際に倒れるか、押し出されるかするので、後ろに支えを置きます。

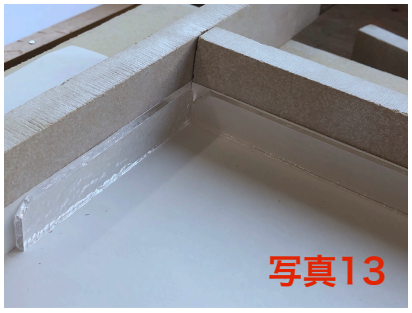

写真11

焼成準備　カットしたガラスやダムを組む作業は、棚板の上で行うと良いでしょう。そのままキルンに運ぶ事ができます。ダムとガラスの組み方を順を追って説明して行きます。

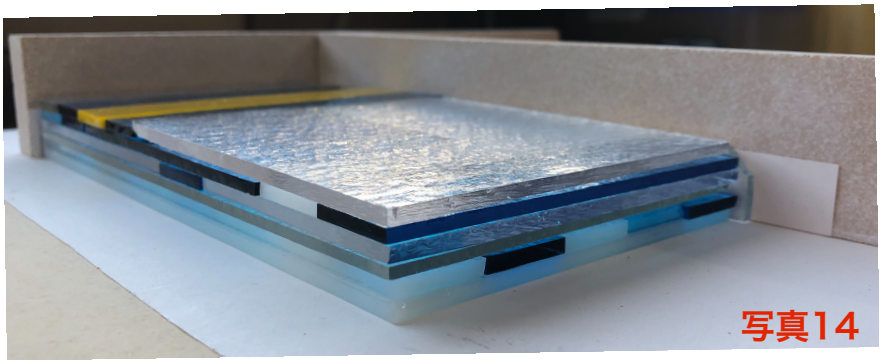
棚板の上に離型紙を敷きます。その上にダムの2辺を置きます。この時直角が出るように定規などをガイド代わりにすると良いでしょう。(写真11)


写真12

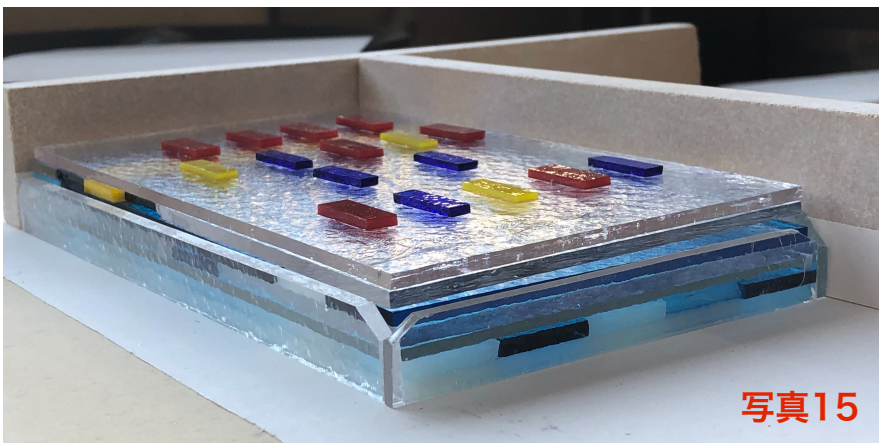
次に16mm幅のガラスを縦に置く為に、ダムの側面にも16mm幅にカットした離型紙を置きます。(写真12) なぜ側面のガラスを16mm幅にカットするかを説明をします。今回積み重ねたガラスの厚みは焼成前で約24mmになります。側面に置くガラスの幅を積み重ねたガラスの合計より8mm低くする事で、それ以上の高さのガラスがフルフューズで溶けた時に、側面のガラスの上に乗り、丸みを帯びた仕上がりになるからです。(さらに詳しい説明は当社ホームページのテクニカルサポート、TIPSHEET3の和訳をご参照ください)


写真13

103mm x 16mm x 3mmのガラス1枚と183mm x 16mm x 3mmのガラス1枚角を作る様に置きます。(写真13) 側面のガラスを103mmと183mmにする理由は、ガラスの組み方に関係があるのです。側面のガラスもダム同様に井桁型に組みます。中心のガラスのサイズが100mm x 180mmなので、井桁型に組むには、ガラスの厚みの3mmを足す必要があるからです。ガラスは必ずクリーニングをしてから組んで行きましょう。

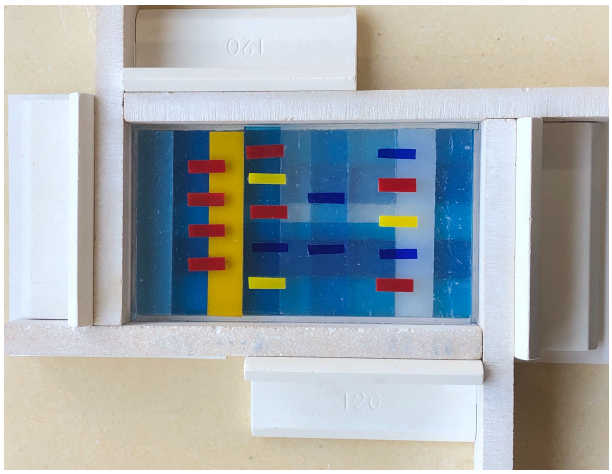

写真14

中心のガラスを積み重ねて行きます。(写真14)丁寧に積んで行きましょう。


写真15

残りの2辺のガラスを置いて行きます。(写真15)

側面のガラスの角を切り落としていますが、これも焼きあがったあと、ダルの4つ角が丸くなる様に仕上げる為の処理です。ワニ口で削り落とすと良いでしょう。



残りのダムを組み、先述した様にダムの後ろに支えを置きます。

(写真16) これで焼成準備完了です。次の章では焼成プログラムについてお話しします。

写真16

3.焼成

ガラスを重ね終わったら、いよいよ焼成プログラムを組んでいきます。基本的に厚いガラスを焼成するため、ゆっくり温度を上げて、徐冷の手前でガラス全体の熱を均一にし、ゆっくり徐冷します。プログラムの組み方の他に、プログラムを組む時に使う言葉をおさらいしましょう。

1.工程: セグメント とも呼びます。(segment) キルンの種類によっては、最初に工程数を入れる物があります。この時キルンのデジタル表示で “ segs” と表示されます。segment の略です。余談ですが、キルンのコンピューター表示はデジタルの数字などをを駆使して表示する物が多いので、多少見にくい事があります。例えば ”segs” の 「g」 は 数字の 6 を使って英語表記の大文字「G」を表しています。デジタル表示を読む時は少し想像力を必要とするかもしれません。

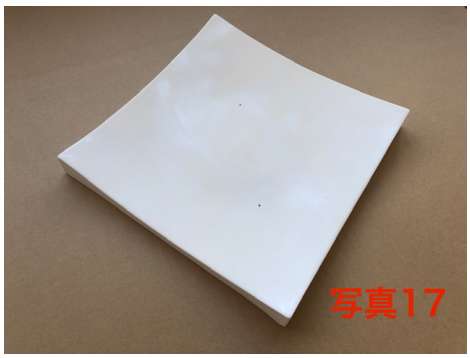
2.レート: 割合、スピード(時速)とも呼びます。温度の上げ下げの時に 何℃/時間(h) で入力します。例えば、150℃/時間のように、一時間で150℃ずつ温度を上げ下げするという意味です。プログラムの中で “9999℃／時間(h)” という命令を入れる事がありますが、これは実際9999℃／時間で温度が上がり下がりするわけでなく、そのキルンの持っているパワー目一杯で。と言う意味です。なので、100V 15A のキルンと、200V 24Aのキルンとでは温度の上がり方、下がり方が異なります。英語で書かれている資料には“ASAP” と書かれている物があります。これは、“As Soon As Possible” の略で、出来るだけ早くの意味です。キルンによっては、時速じゃなく何℃まで何時間かけて温度を上げ下げするか。と言う命令の仕方のタイプもあります。お使いのキルンによって、 プログラムの入力方法が違います。

3.目的温度: 到達温度とも言います。それぞれの工程で必ず設定する物です。

4.キープ: HOLD(ホールド)とも言います。目的温度で何分キープするかを設定します。キープをしない場合は 0 分と入力します。

次のページで、今回の厚焼きピースのプログラムの表を見てみましょう。コメント欄にプログラムの意味合いを書き込みました。今回のプログラムは、このガラスのピースを焼くための物です。厚みを含め、サイズが変わればプログラムも変えて行きます。例えば、厚みを15mmにするならば、初期加熱を150℃/時間にし、徐冷前のキープを100分〜120分くらいにする。のようなプログラムにします。

工程 (Segment)	レート (Rate)/ 時間	到達温度 ℃	キープ (Hold) / 分	コメント
Seg1	120℃/h	570℃	0 分	「初期加熱」室温から最初の段階まで温度を上げるステージ。厚さが 22mm あるので、かなりゆっくり温度を上げていきます。速度が速いとガラス内で歪みが起こり、初期加熱段階で割れるリスクが高くなります。 570℃辺りを過ぎるとガラスの流動性が高まり、ここから速度を早くしても割れるリスクが減ります。
Seg2	350℃/h	670℃	45 分	「急速加熱 (予備) 段階」ガラスの厚みが 6mm〜8mm 程度であれば、この段階で急速で温度を上げます。今回の厚みではこの段階でも、少し抑えたスピードで温度を上げます。670℃で 45 分キープするのは、ガラスの内側の空気をなるべく外へ逃がすためです。空気をできるだけ軽減し、空気が膨らんで弾けるリスクを減らします。
Seg 3	9999℃/h (通称 999℃ キルンが持っている 性能の力の限り)	805℃	10 分	「到達温度」又は「目的温度」とも言います。今回はフルフューズで溶かします。キープ時間はスランピング以外は 10 分にしています。キープ時間を 5 分にしても、15 分にしても特に問題はありません。毎回同じ分数にしておくことで、実験をしたり、過去の焼成プログラムを思い出す時に覚えやすくしておくと良いでしょう。
Seg 4	9999℃/h (通称 999℃ o 温度を下げる段階ではキルン内で電源を切った状態にしています)	485 ℃	210 分 (3 時間 30 分)	「アニールソーク (徐冷キープ)」徐冷に入る前のキープ。ガラス全体の熱を均一にして、歪みが出ないようにする為のキープ。おこめが炊き上がった時に、芯まで柔らかくなるように蒸らしますが、それと同じような操作です。厚みに関係なく温度は 485℃(ガラスがブルズアイの場合) で、厚みによってキープ時間を変えていきます。では、どの厚さの時に何分キープするか？ の答えは Bullseye 社 HP の " TechNotes7 " (PDF 形式) の最後のページにアニールソークの一覧表掲載されてます。ご参照ください。URL は下記に貼り付けてあります。
Seg5	70℃/h	370℃	0 分	「アニール クール」徐冷の事。前の段階のアニールソークを過ぎたら、370℃までゆっくり下げて熱割れのリスクを回避します。焼成するガラスの厚みによって、この段階を入れるかどうかを決めます。例えば、この厚みが 6mm であれば、このステージを省いて室温まで自然徐冷をします。
Seg6	9999℃	0℃	0 分	キルンによっては、この段階を設定しないとプログラムが終了しない物もあります。このプログラムを設定しないと、前の段階の 370℃のままキープされてしまう。と言うタイプのキルンもあります。 ご自身のお使いのキルンをお確かめください。



※Seg3のコメント欄の赤線部分に関して: スランピングの目的温度やキープ時間は、モールドの形や乗せるガラスの大きさ(重み)によって変えて行きます。例えば、写真17のような単純底の浅いモールドなら、目的温度を低目に設定してキープ時間も0分にしても良いです。ガラスの重さが重ければ重いほど、スランプしやすいです。2mm厚一枚より、二枚重ねたガラスの方が重くなります。3mm厚二枚を重ねるともっと重くなります。重さが重いほど、目的温度を少し低く設定しても良いです。

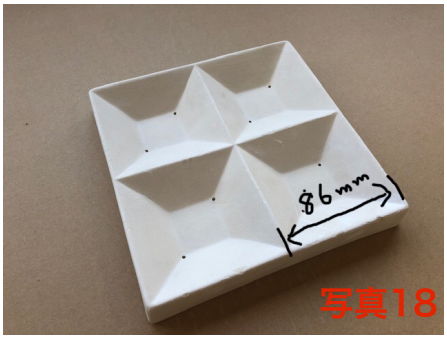


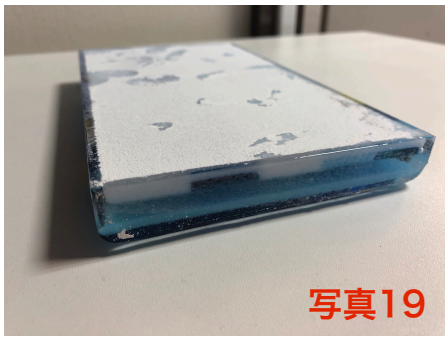
写真18のように四角のモールドでも中に仕切りがある場合、一つ一つの部屋が小さいため、単純で底の浅いモールドの同じプログラムでスランプさせても綺麗に落ち切りません。この場合は目的温度を少し上げて、キープ時間を長く設定します。例えば、写真17のようなモールドであれば、目的温度を670℃に設定し、キープを60分取ります。温度をもっと高くして、キープ時間を短くするのはダメか？と言う疑問が浮かぶかもしれません。スランピングの場合高い温度に設定すると、ガラスの溶けが早く縁のガラスを引っ張りながらスランプをしてしまうので、低めの温度で長くキープして、ゆっくりスランプさせるのが良いです。スランプの詳しい温度設定は、ブルズアイホームページの “Mold Tip:Suggested Slumping Schedules”

http://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/other_technical/mold_tips_suggested_slumping_schedules_C.pdf

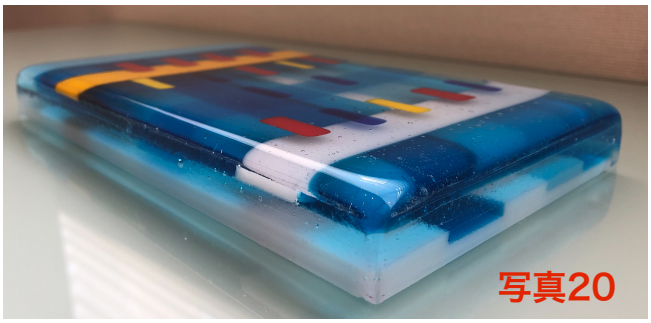
をご覧ください。

4.出来上がり

プログラムが終了したら、キルンが室温になるまでキルンのドアを開けずに待ちましょう。例えば温度表示が60℃となっていても、キルンの室内の温度が60℃と言う意味でガラスの内側はもっと温度が高いです。触って火傷をする危険もあります。また急激な温度差でガラスが割れる恐れがあるので、注意してください。



温度が室温になったら、焼成ピースをキルンから取り出します。取り出す際は離型紙などの粉が舞うため、マスクを着用しましょう。今回のピースは一番底に白のオパックのガラスを使用したため、離型紙がくっついてしまっています。お水を流しながら、タワシなどでこすって離型紙を洗い落としてください。オパック系のガラスは離型紙がくっつきやすいです。キャセ系(トランスペアレント系)は離型紙がくっつく事はあまりありません。



出来上がり: ガラスにしたり、縁周りのガラスの高さを低くしたり、四角を削ったりなど焼成前にしっかりと準備をしたので、角は丸みを帯び、ガラスの表面は失透もせず綺麗に焼きあがりました。準備段階で手を抜いてしまうと、焼成後にコールドワークを施さなければならず、手間と時間がかかってしまいます。コールドワークをする利点もありますが、コスト的にもコールドワークは高くなる事もあるので、前準備をしっかりして焼成をしましょう。

5.まとめ

数ページに渡る資料になりましたが、それでも一部の情報しか紹介できませんでした。それほど、焼成する物によってプログラムが変わってくると言う事です。ただし、応用できる部分もたくさんあるので、この資料がをご活用ください。特にプログラムの意味を理解する事が大事だと思います。今回のピースより小さい物を焼く時には、プログラムをより簡素にしたり、大きな物を焼く時には、より複雑なプログラムが必要になってきます。プログラムを理解した上で焼成をする事で、効率よく綺麗に焼く事ができます。