

焼物づくり (2)

- 釉薬ゆうやくづくりを通して生活と理科を結びつける -

前田 昭彦

日常食器として使用しているほとんどの陶磁器には釉薬が施されている。これには、焼物を丈夫にし、汚れや水漏れを防ぐとともに、焼物を色鮮やかに見せるという役割があるが、釉薬の原料やメカニズムについてはよく知られていない。そこで、釉薬は「粘土の素地を覆い、表面に融けて張りついたガラス」であることから、低温で短時間に溶融するガラスづくり、釉薬の調合、施釉、本焼の方法について検討し、ガラスの魅力と化学の不思議を体感することで、日常生活と理科を結びつける教材の可能性を探った。

[キーワード] ものづくり 焼物の化学 釉薬 ガラス

はじめに

ものづくりは、楽しみながらそのシステムを理解することのできる実感を持った教材となるとともに、日常生活に見られるものづくりに興味・関心を持つことができる。素焼した粘土の素地面に釉薬をかけて（施釉）本焼すると、釉薬が高温で融けて、素地面をガラスの皮膜で覆い光沢のある魅力的な作品が比較的簡単に仕上がるが、身近なものづくりとはなっていない。

そこで本稿では、鉛ガラスの原料の混合比を分析することで、実験室で短時間でつくることが可能な条件について分析した。また、このガラスを用いた釉薬のつくり方等を紹介した。

1 主原料の混合比

鉛ガラスの主原料は、ケイ砂、酸化鉛と炭酸カリウムであるが、実際に炭酸カリウムを使うと短時間では融けない。ここでは、実験室でガスバーナーを用いて短時間で融かすことのできるガラスの原料の混合比について分析する。

準備

ケイ砂 (SiO_2)、酸化鉛 (PbO)、ホウ酸ナトリウム ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)、炭酸ナトリウム (Na_2CO_3)、炭酸カリウム (K_2CO_3)、鉄製スタンド、ガスバーナー、ガスマッチ、マッフル、磁性るつぼ、

るつぼばさみ、セラミック板、デジタル温度計、乳鉢、乳棒、電子天秤

方法

- (1) ケイ砂 1 g、ホウ酸ナトリウム 1 g、酸化鉛 1 g を計りとり、混合物を乳鉢ですりつぶし、均一にする。
- (2) 方法(1)のすりつぶした混合物から 2.5 g をるつぼに入れ試料 1 とする。同様に、酸化鉛の量を 0.5 g ずつ増やした混合物から 2.5 g をるつぼに入れて試料をつくる操作を、酸化鉛の量が 5 g になるまで繰り返し、これらを試料 2 ~ 10 とする。
- (3) 鉄製スタンドのリングにマッフルをのせ試料のるつぼを中に入れ、ガスバーナーで強熱して (図 1)、試料 1 ~ 10 について溶融時間と溶融温度を計測する。

これらの関係は表 1 から分かるように、酸化鉛の割合が多いほど融けるまでの時間は短くなり、低い温度で融けるようになる。しかし、試料 9・10 ではできたガラスを放置しておく表面に光沢感が無くなっており、試料 8 では光沢を保っていたことから、酸化鉛の割合は 試料中の約 67% (ケイ砂 1 g、ホウ酸ナトリウム 1 g、酸化鉛 4 g) 含有の 때가最もよい条件であることがわかる。



図1 試料の溶融

表1 酸化鉛 (PbO)の含有率と溶融時間・温度

| 試料 | PbOの量 (g) | 含有率 (%) | 溶融時間 | 溶融温度 () |
|----|--------------|------------|---------|-------------|
| 1 | 0.5 | 20.0 | 溶融せず | 溶融せず |
| 2 | 1.0 | 33.3 | (30分加熱) | (780~810 |
| 3 | 1.5 | 42.9 | | まで加熱) |
| 4 | 2.0 | 50.0 | | |
| 5 | 2.5 | 55.0 | 16分30秒 | 740~750 |
| 6 | 3.0 | 60.0 | 8分20秒 | 715~720 |
| 7 | 3.5 | 63.6 | 3分40秒 | 700~705 |
| 8 | 4.0 | 66.7 | 3分 | 690~695 |
| 9 | 4.5 | 69.2 | 2分15秒 | 675~680 |
| 10 | 5.0 | 71.4 | 1分40秒 | 670~675 |

(4) 次に、ケイ砂 1 g，酸化鉛 4 g に、加えるホウ酸ナトリウムの量を変えて (0 ~ 2.5 g まで 0.5 g ずつ増やす) 試料 A ~ F をつくり、乳鉢で混合した後、それぞれ 2.5 g を りんぼに入れ、溶融時間と溶融温度を計測する。

表2 ホウ酸ナトリウム (Na₂B₄O₇)の含有率と溶融時間・温度

| 試料 | NaB ₄ O ₇ の量 (g) | 含有率 (%) | 溶融時間 | 溶融温度 () |
|----|---|------------|-------|-------------|
| A | 0 | 0.0 | 5分30秒 | 735~740 |
| B | 0.5 | 9.1 | 3分30秒 | 725~730 |
| C | 1.0 | 16.7 | 3分 | 690~695 |
| D | 1.5 | 23.1 | 1分30秒 | 675~680 |
| E | 2.0 | 28.6 | 2分15秒 | 695~700 |
| F | 2.5 | 33.3 | 2分40秒 | 700~710 |

これらの関係は表2から分かるように、ホウ酸ナトリウムの割合が約23%のときに、融けるまでの時間は最も短くなり、最も低い温度で融けるようになる。

(5) 次に、ケイ砂 1 g，酸化鉛 4 g に、炭酸ナトリウム，炭酸カリウムをそれぞれ 1.5 g 加えて混合した試料を乳鉢ですりつぶした後、それぞれ 2.5 g を りんぼに入れ、これら溶融剤 (融剤) の種類の違いによる、溶融時間と溶融温度を計測する。

このときの結果は表3から分かるように、溶融剤 (融剤) としてはホウ酸ナトリウムを使用すると、最も短時間に、しかも低い温度で融かすことがわかった。

表3 炭酸ナトリウム (Na₂CO₃)と炭酸カリウム (K₂CO₃)での溶融時間・温度

| | 溶融時間 | 溶融温度 () |
|---------|-------|----------|
| 炭酸ナトリウム | 4分40秒 | 795~800 |
| 炭酸カリウム | 8分50秒 | 745~750 |

結果

ケイ砂の量を増やすことで質のよいガラスが得られるが、溶融温度が著しく高くなる。そこで、ケイ砂の量は 1 g のままで考えると、実験結果から、酸化鉛 4 g，ホウ酸ナトリウム 1.0 ~ 1.5 g の分量で混合、加熱したときに、短時間、低温で透明感のあるガラスが得られることがわかった。このことから、原料の混合比は、

$$\text{SiO}_2 : \text{PbO} : \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 = 2 : 8 : 3$$

あたりが、実験室でつくるのが可能なガラスの条件であると判断できる。図2・3は上記の混合比で得られたガラスである。



図2 溶融状態

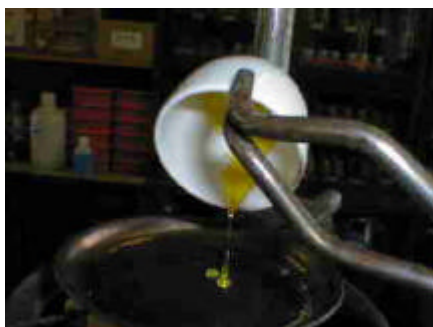


図3 融けたガラスを流す

2 釉薬づくり

準備

ケイ砂 (SiO_2), 酸化鉛 (PbO), ホウ酸ナトリウム ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), コバルト化合物 (CoCl_2 や CoO など), ビーカー (1ℓ), 乳鉢, 乳棒, 電子天秤

方法

- (1) ケイ砂 2 g, 酸化鉛 8 g, ホウ酸ナトリウム 3 g を計りとり, 混合物を乳鉢ですりつぶし, 均一にする。
- (2) 1ℓの水に塩化コバルト 0.25 g を溶かし, 水溶液 (薄め液: 消色剤) を調製する。
- (3) 方法(1)の混合物に, 方法(2)の消色剤を 5 ml 加え, 再びすりつぶし, 釉薬をつくる (図4)。



図4 完成釉薬 (左) と薄め液 (右)

ここで説明した釉薬は, 鉛が含まれるため, 焼き上がった作品の表面は薄い黄色を帯びる。そこで, 消色剤として, 補色にあたる紺色をだす塩化コバルトを微量に加えた薄め液を使用した。

3 施釉と本焼き

準備

2でつくった釉薬, 素焼粘土, 撥水剤^{はっすい}, 絵筆, 鉄製スタンド, ガスバーナー, マッフル, 磁性るつぼ, るつぼばさみ, ドライヤー

- (1) 絵筆に釉薬をしみ込ませ, 素焼きした作品に塗布し, ドライヤーを用いて乾燥させる。このとき, 釉薬を掛けたくない部分 (高台など) には, あらかじめ撥水剤を塗布し, ドライヤーで乾燥させておく。
- (2) 方法(1)で施釉した作品をるつぼの中に置き, 鉄製スタンドにセットしたマッフルに入れる。
- (3) ガスバーナーを用いて, 初めは穏やかに加熱し, その後火力を最大にして, 青い還元炎のすぐ上の酸化炎がるつぼの底に当たるようにして約7分間るつぼを強熱する。釉薬が溶融したことを確かめるには, るつぼばさみでマッフルのふたをとり横からのぞく (図5)。



図5 釉薬の溶融状態

- (4) 釉薬が均一に溶融したら, 徐々に火力を小さくし, 火を消し, そのままの状態です冷する (図6・7)。



図6 徐冷した作品



図7 施釉作品(左)と本焼き作品(右)

4 施釉の方法

一般に釉薬の厚さははがきの厚さくらい(0.3mm)がよいといわれている。

薄く掛ければ、土味が強調され焼き上がりは光沢のないものになる。厚く掛ければ、釉薬の色が強調されすぎるが、逆に、融けた釉薬が流れの効果を出すこともある。

釉薬の掛け方も、釉薬の入った容器の中に作品をつけて引き上げたり(ドブ漬け)、ひしゃくで作品に釉薬を掛けたり(シャク掛け)、平筆で釉薬を塗るなど様々な方法がある。

5 釉薬のとけ方

施釉の時に水分を多く含んでいる釉薬は、焼成が始まると、完全に水分が抜けて大きな収縮が生じ釉薬は分断される。

しかし、釉薬の粒子は、素焼き生地のある細かい凹凸の中に入り込んで密着するため、焼成が進んで温度が高くなり軟化する部分が増加してくると角が取れ、さらに温度が上がると、軟化した部分が液状になって周囲の他の原料を融かしこんでいく。さらにその釉液の粘度が低下してくると、切断した部分を塞いで連続した釉層を形成するようになる。そして、表面張力によって、釉面は十分に平滑になっていくのである。

この時、内部では気泡が散在し、これらが釉表面に向かって移動し、表面ではじけて外気に散逸する。移動の速さは釉液の粘度と気泡の

大きさによって従う。釉面ではじけた跡は表面張力によって平滑になり透明な釉になる。

6 釉薬の着色顔料

金属塩を微量加えて溶融すると、金属イオンの状態や、コロイドの状態によって着色する。溶融条件によっても色が変わるので、酸化炎に入れたり、還元炎に入れたりして色の変わり方を検討するのもよい。

表4 着色剤の種類

| | |
|----------|---|
| 溶解着色 | 過マンガン酸カリ(紫色, 黒色), 酸化コバルト(淡青色, 濃青色), 重クロム酸カリ(赤橙色), 酸化ニッケル(赤紫色), 酸化鉄(青緑色, 黒色), 酸化銅(緑青色), 酸化ウラン(黄色) |
| コロイド分散着色 | セレン・亜セレン酸ソーダ・酸化銅, 銅粉・ 塩化金(それぞれ色調の異なる赤色) |

おわりに

ガラスの歴史は古く、昨年、奈良県明日香村では、飛鳥時代の宮殿や寺院を装飾したとされる古代のガラス玉を当時の技法に忠実に製作し、千三百年ぶりに再現した。そして現在、ガラスは、窓や食器や工芸品としてだけでなく、光情報通信やエレクトロニクスの分野にも使用されるなど、日常生活とは切り離すことのできない窯業製品となっている。

ガラスや釉薬づくりは、その歴史や種類、性質、機能、化学的成分など様々な視点から窯業を見つめ直し、理科から他教科、他領域にも発展し、日常生活との関連も深めることが可能なものづくりであると考えられる。

参考文献

- 黒田永二 ポピュラーサイエンス燃焼の謎に迫る pp.107-110 裳華房 1995
- 堀克巳 新絵で見るペランダ陶芸 pp.158-161,165-178 フットワーク出版 1999
- 杉山美次 おもしろ実験・ものづくり完全マニュアル pp.189 東京書籍 1993
- 塩川二郎 増補無機工業化学 pp.277 化学同人 1986

(まえだ あきひこ 化学研究室長)