

# 須恵器焼成における自然釉発生のメカニズム

メモ) 鉄本 2025.05.25

須恵器窯からは、10%程度の自然釉が発生することがあります。そのメカニズムをまとめてみました。

【まとめ】 須恵器に自然釉がかかるのは、薪を燃やして生じた灰が高温の窯の中で陶器に付着し、溶けてガラス質の釉薬となるからです。この灰には珪酸(シリカ)やアルカリ分(カリウム、ナトリウム)が含まれており、焼成温度が高くなると、これらの成分が陶器の表面で溶け、一定の条件下でガラス質の層を形成します。これが「自然釉」で、その色彩は発色元素が含まれている状態に依存します。

## 1. 自然釉発生の諸条件

自然釉(ガラス化)が発生するためには、①ガラス質化元素である二酸化珪素(通称;シリカ)の存在、②発色元素の存在、③適正な焼成温度と焼成窯内雰囲気との3つの条件が揃う必要があります。

①二酸化珪素: ケイ素と酸素の化合物( $\text{SiO}_2$ )で自然界では石英などの形で存在します。イネ、サトウキビ等の植物にも含有しています。融点は1650度です。

②発色元素: 発色元素には下表のようなものがあります。これらの元素の量によって色調が変わります。

元素	発色効果(主に還元焼成時)	含有の可能性(微量)
鉄(Fe)	緑、褐色、オリーブ色など	針葉樹・広葉樹など広く存在
マンガン(Mn)	紫～黒褐色	樹種を問わず存在
銅(Cu)	緑(酸化)、赤(還元)	針桐・栗など落葉樹に存在
チタン(Ti)	黄～白濁(濁り効果)	極めて少ない
コバルト(Co)	青(ただし自然灰ではまず出ない)	非常に微量、ほぼ無い

須恵器の自然釉によく見られるオリーブグリーンや緑灰色は鉄による発色です。

発色は酸化焼成では黄褐色～褐色、還元焼成では青緑～黒緑系の色になります。

③焼成温度と焼成窯内雰囲気: 二酸化珪素(以下、シリカと表記)の融点は1650度で、須恵器窯では通常1000度～1200度で焼成されますのでシリカは溶けません。その為、シリカの融点を下げる融解助剤(フラックス)が必要になり、ガラス化のためには、これが木灰に含まれていることが条件になります。木灰由来のフラックスには次のようなものがあります。

・酸化カリウム( $\text{K}_2\text{O}$  融点490度)    ・酸化ナトリウム( $\text{Na}_2\text{O}$  融点1132度)

・酸化カルシウム、別称:生石灰( $\text{CaO}$  融点2575度)    ・酸化マグネシウム( $\text{MgO}$  融点2826度)

須恵器窯の内部では、温度の変化、酸化焰/還元焰の変化、酸素/二酸化炭素の量の変化、空気の対流によって、降灰し易い位置(例えば火の吹き出す方向面や、他の器の下側)、器の配置など、様々な条件が自然釉形成を左右します。

## 2. 自然釉を形成する木灰の量的条件

①木灰の量: 自然釉に必要な木灰の量は、 $1\text{cm}^2$ あたり数 mg 程度の灰でも釉化が始まるとされています。

また、通常の器にかかる灰の厚みは 10～100 ミクロン程度あれば自然釉を形成します。

但し、この灰にはシリカだけでなくアルカリ・石灰などのフラックスが含まれていることが前提です。

②化学組成の比率: 自然釉として安定なガラス質を形成するには、おおよそ以下のような組成が望ましいと

されていますが、古代の須恵器の焼成においては、偶然性によります。数値は実験室で人工的に自然釉を形成させる際の目安です。灰の中に表のような比率で成分が含まれ、かつ表面に適量付着し、1000～1200℃の焼成温度でガラス質が形成されます。

【釉薬組成割合】

成分・役割	重さの比率(%)の目安	量による変化
<ガラス化成分> SiO <sub>2</sub> (シリカ)	60～70%	釉薬を溶かしたいとき → 減らす 釉薬が流れすぎるとき → 増やす
<胎土とガラスのつなぎ剤> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (アルミナ)	10～20%	釉薬を溶かしたいとき → 減らす 釉薬が流れすぎるとき → 増やす
<融解助剤/フラックス> K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O/CaO(アルカリ類)	15～25%	釉薬を溶かしたいとき → 増やす 釉薬が流れすぎるとき → 減らす

③フラックスの量とシリカの融点の相関関係： フラックスの量が多いとシリカの融点は下がります。

概要は次の通りです。(K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>系の融点推移)

フラックス含有量(重量%)	融点(℃)の目安
0%(純シリカ フラックス無し)	約 1710℃
10%	約 1350～1450℃
20%	約 1200～1300℃
30%	須恵器窯温度帯 約 1000～1150℃
40%以上	950℃以下(過剰で流れやすい)

④自然釉が生じる木灰の元素割合(目安)：

SiO<sub>2</sub>=約 45～60%      CaO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O=20～30%      Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>など=0～15%

3. 樹木灰に含まれる微量元素(例)

(注)網掛けの色： 青＝ガラス化成分、緑＝つなぎ剤、黄＝フラックス、紫＝発色成分

	松	檜	くぬぎ	赤松	雑木	釉薬を特徴付ける要素	
SiO <sub>2</sub> シリカ	24.39	0.64	10.7	6.65	21.43	ガラス化要素	青化要素
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> アルミナ	9.71	0.19	0.37	2.25	3.25	粘度増加要素	青化要素
K <sub>2</sub> O カリウム	8.98	12.88	7.63	13.31	0.80	フラックス	青化要素
Na <sub>2</sub> O ナトリウム	3.77	0.37	0.26	0.17	2.75	融点低下要素(フラックス)	
CaO カルシウム	39.73	42.84	42.11	36.21	30.90	フラックス	
MgO マグネシア	4.45	5.02	4.94	4.47	5.51	乳濁化要素	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 鉄	3.41	0.73	1.19	0.34	0.49	ベンガラ(赤茶)	須恵器の自然釉
MnO マンガン	2.74	1.37	0.39	-*-	0.49	コバルトと共に呉須(藍色)を成す	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> リン	2.78	0.99	1.28	3.60	3.01	乳濁化要素	黄化要素
SrO スロンチウム	-*-	0.20	0.20	-*-	-*-		
BaO バリウム	-*-	0.13	0.19	-*-	-*-		
その他	-*-	34.77	30.69	31.89	29.04		
合計	99.96	100.96	99.95	98.89	97.67		
典型的な焼窯	伊賀焼 鉄・緑釉			備前焼 無釉			

出典：成分はHP釉薬を作る原料(陶工伝習書)より (注：数字は% 四捨五入のため100%にならない)

出典：[水簸天然木灰\(天然土灰\) 25kg - 伊勢久陶芸ショップ \(isekyu.com\)](http://isekyu.com)

以上