

かま  
窯

わざ  
技

～知っておきたい焼成の基礎～

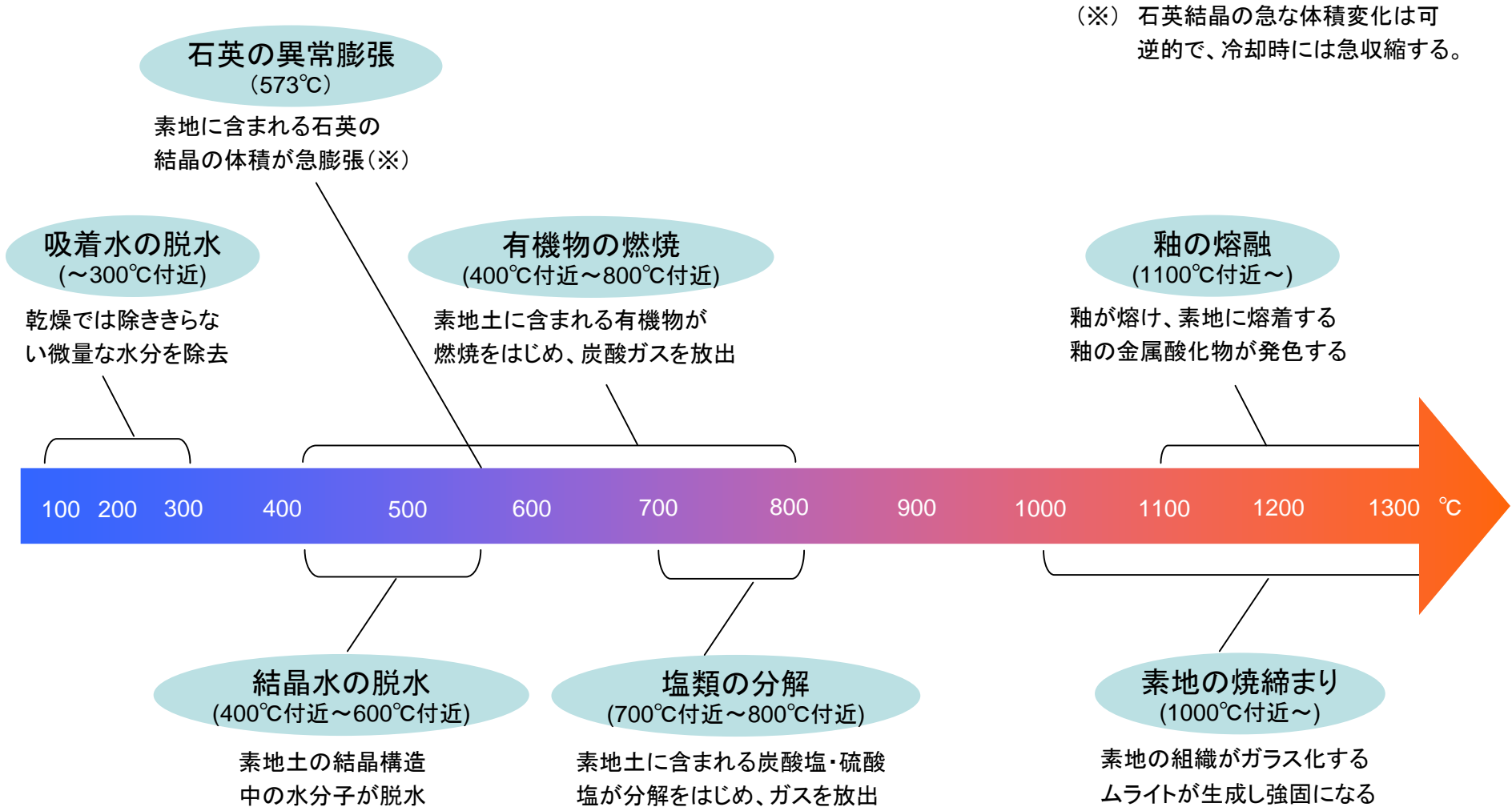


# 目次

焼成と素地の変化	.....	P2
素焼の適正温度	.....	P3
本焼成 温度・雰囲気操作	.....	P5
本焼成 温度の測定	.....	P10
本焼成 雰囲気測定	.....	P13
焼成に用いる燃料	.....	P14

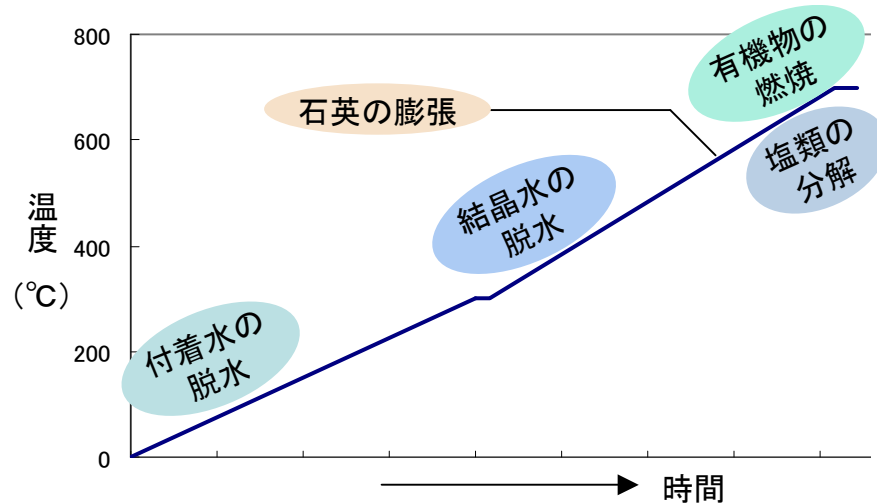
# 焼成と素地の変化

## 【加熱による素地の変化】



# 素焼の適正温度

## (1) 素焼の温度パターン例

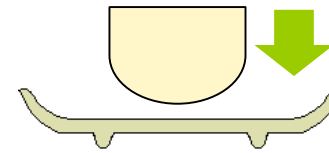


## (3) 素焼温度と強度

素焼後の工程、製品厚さ、材質等に応じ素焼温度を変える。600°C~800°C程度がひとつの目安である。一般的には素焼温度が高いほど素地の焼締まりが進むため、強度が増す。

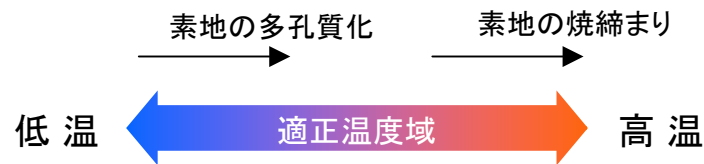
### 【温度を高めにして素焼を行う例】

パッド印刷による転写



パッド印刷の圧力に耐えられる強度が必要。素焼温度を高めにして強度を上げる。

## (2) 素焼温度と施釉しやすさ

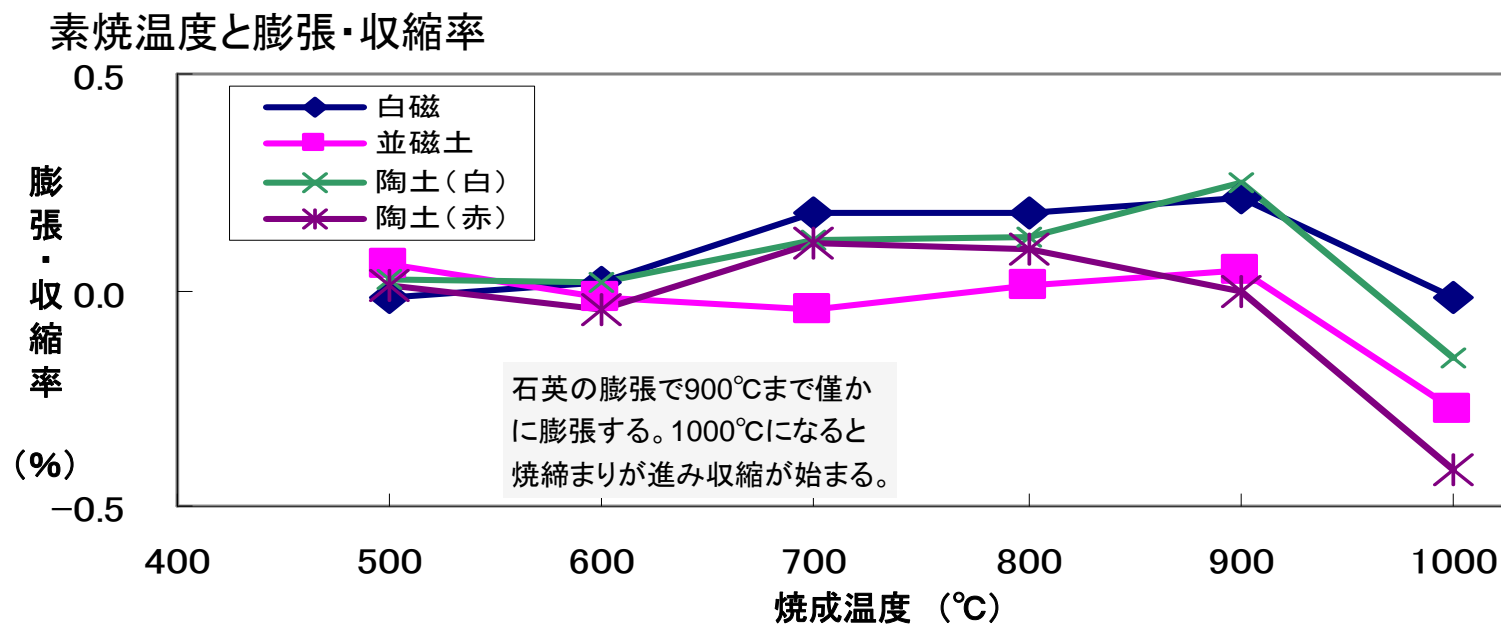
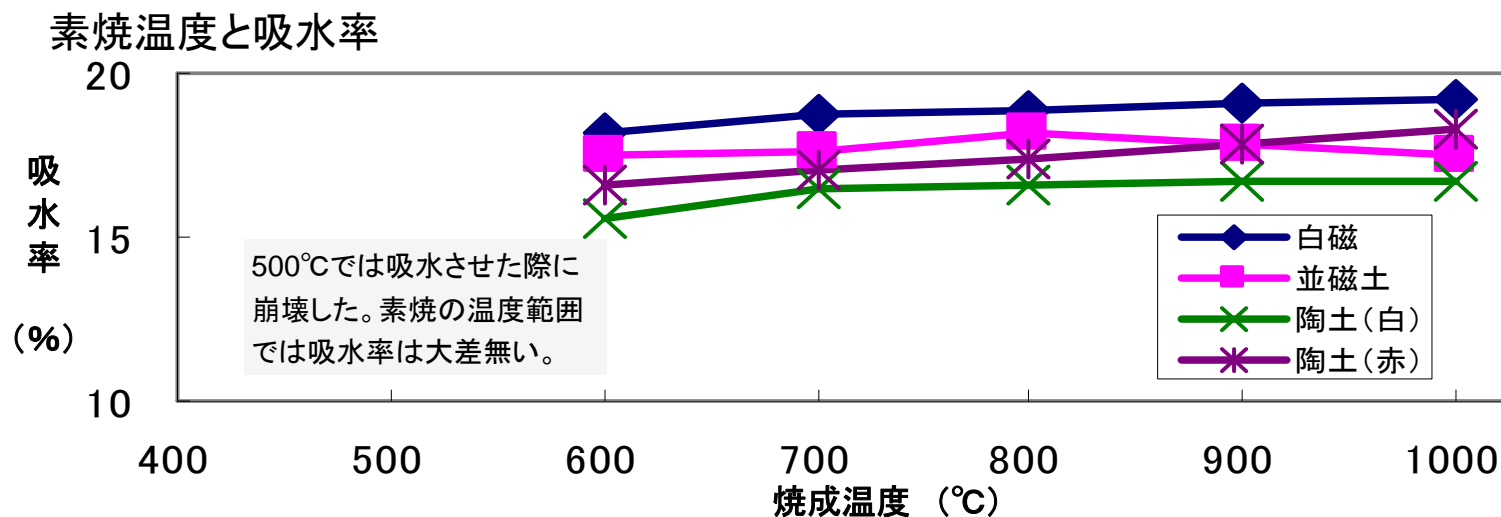


素地が多孔質化せず、釉の乗りが悪く剥がれやすい。素地が水分を含んで破壊しやすい。

素地の焼締まりが進み、吸水性低下。釉の乗りが悪くなり、剥がれやすい。

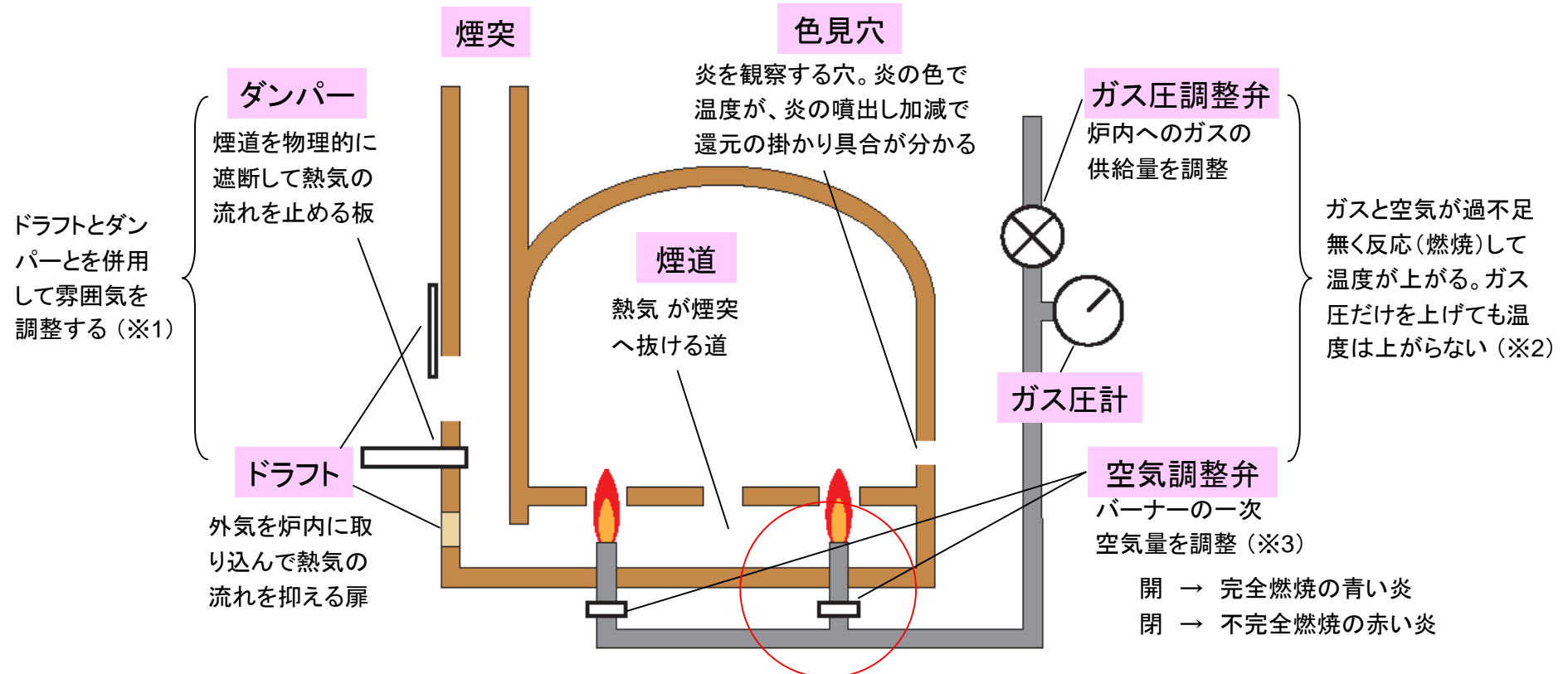
その他、一般的に粘土分の少ない磁器土の方が陶器土よりも素焼温度を高く設定する。

参考：吸水率・膨張収縮率の測定例(500°C~1000°C)



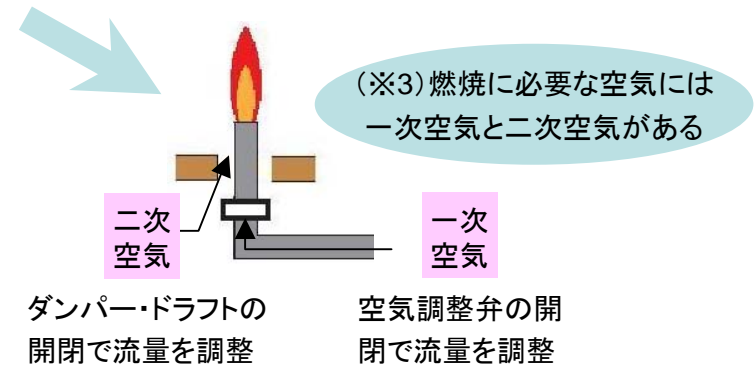
# 本焼成 温度・雰囲気操作

## (1) ガス窯の構造概略

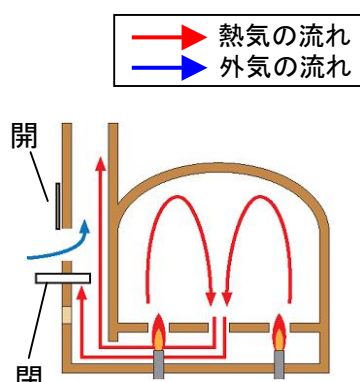
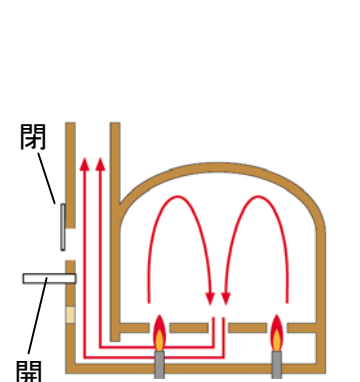


(※1) ダンパーで大まかな調整をし、ドラフトで微調整を行う。ドラフトはバカ口とも呼ばれる。

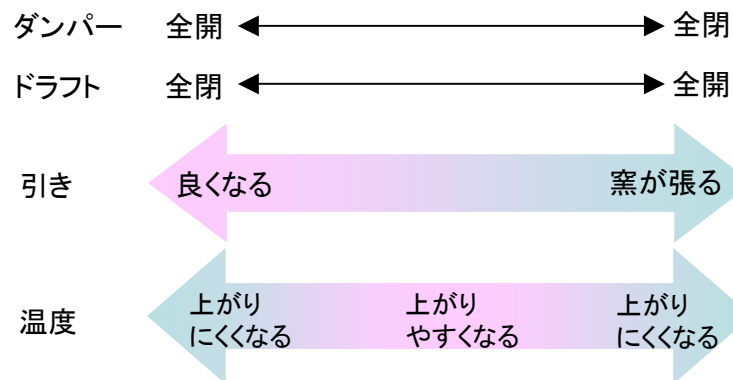
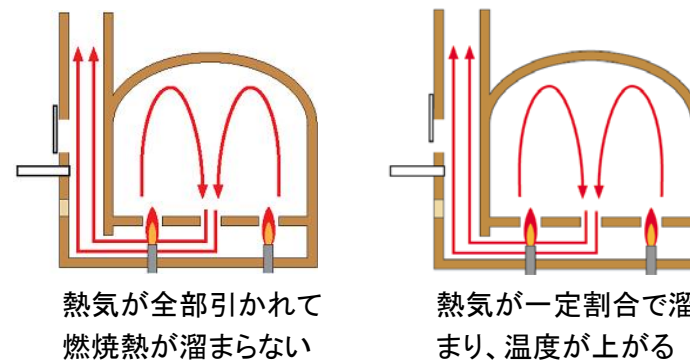
(※2) ガス圧を上げると相対的に炉内の空気が不足するため還元雰囲気寄りとなる。



## (2)ダンパーとドラフトの操作

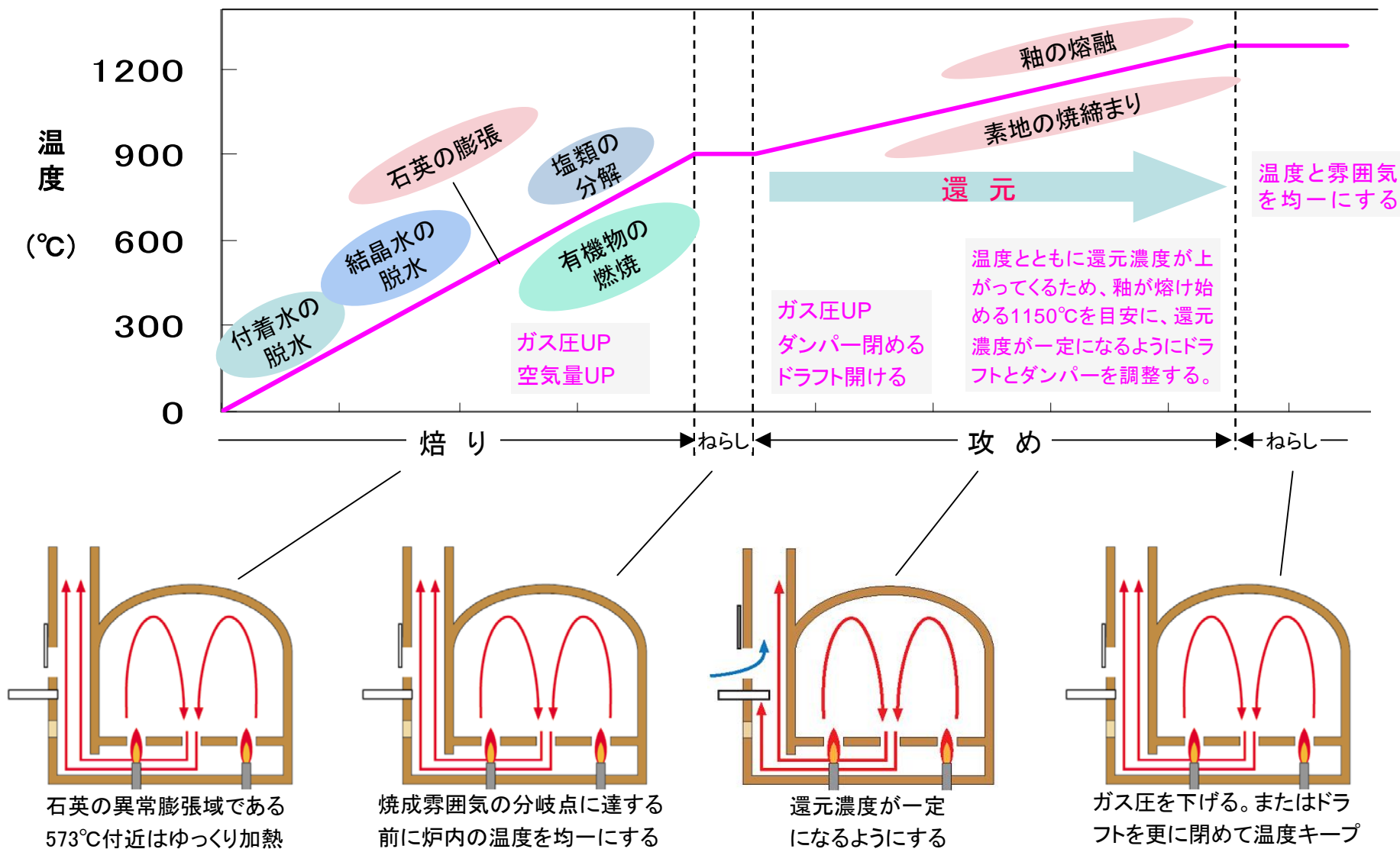
	還元焼成	酸化焼成
ダンパーとドラフトの操作	 <p> <span style="color:red">→</span> 熱気の流れ  <span style="color:blue">→</span> 外気の流れ         </p> <p>開 閉</p> <p>炉内の熱気が煙突から抜けるのを遮断（窯を張らせる）</p>	 <p>閉 開</p> <p>炉内の熱気が煙突から抜ける（引きが良い）</p>
炉内の様子	<p>炉内に熱気が溜まる。ガスと結びついて燃える空気がなくなり、不完全燃焼で一酸化炭素(CO)が発生。COは製品から酸素を奪って燃焼する。</p>	<p>二次空気が炉内に取り込まれ、ガスの完全燃焼が次々に進む。</p>

※ 引きが良すぎても温度は上がらない  
 ダンパー全開、ドラフト全閉(下左図)にすると、熱気を炉内に溜めず煙突へそのまま逃がす(=引きが良すぎる)ことになり、温度の上昇が悪くなる。



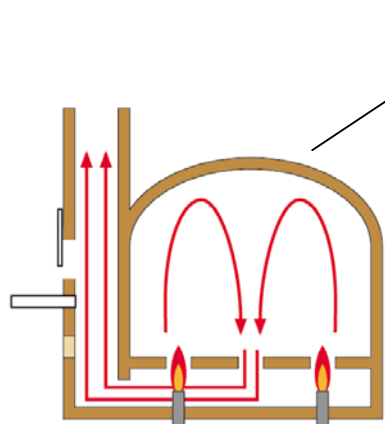
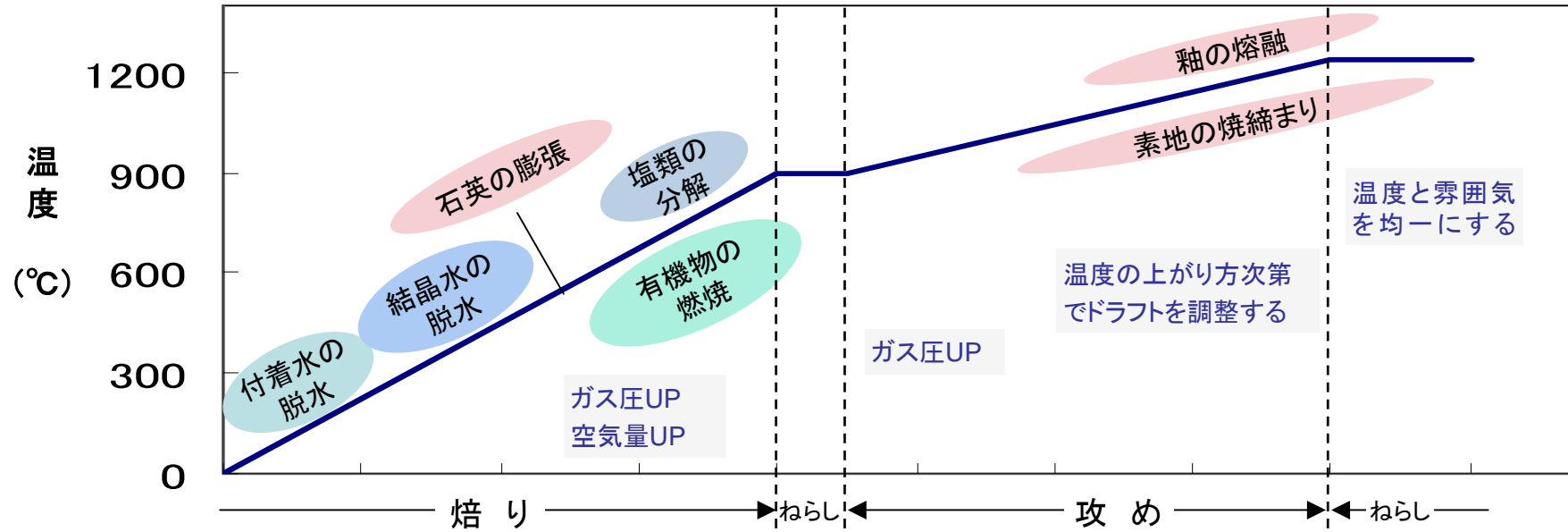
窯サイズ、形式、製品の量に応じて温度が上がる開き具合を見つける

### (3)還元焼成の操作

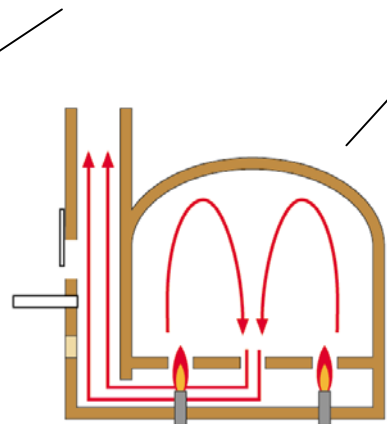




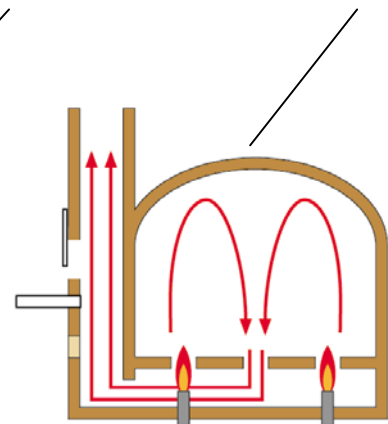
# (4) 酸化焼成の操作



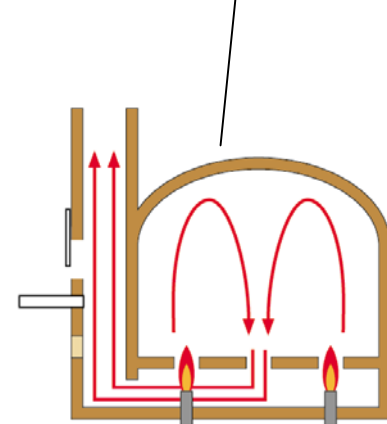
石英の異常膨張域である573℃付近はゆっくり加熱



焼成雰囲気との分岐点に達する前に炉内の温度を均一にする



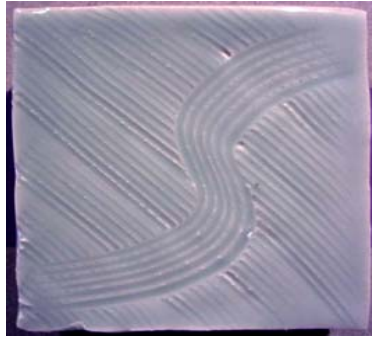
温度を上げるため、ガス圧と空気供給量をさらにUP



ガス圧を下げる。またはドラフトを更に閉めて温度キープ

(5) 焼成結果の例

還元焼成

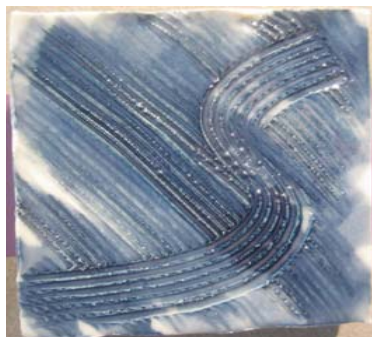


鉄 釉

酸化焼成



銅 釉



呉 須



# 本焼成 温度の測定

## (1) 熱電対を用いて測定する方法

2種類の金属または合金を組み合わせ、両者の起電力の差を利用して温度(温度差)を測定する。窯で使用する熱電対は磁製の保護管で覆われている。温度むらの影響を無くすため、差し込む長さは毎回一定にして使う。

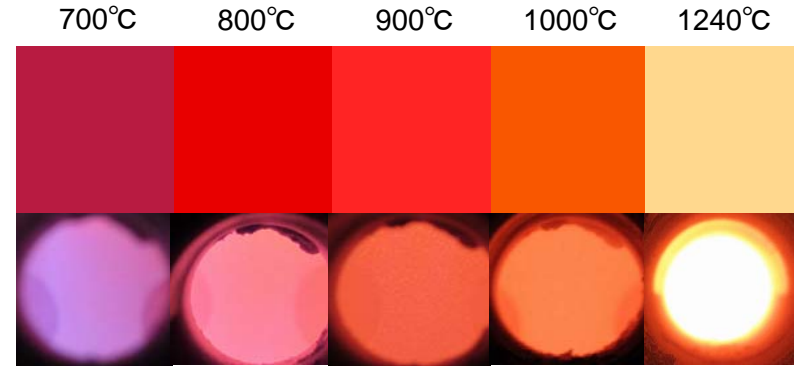


熱電対外観



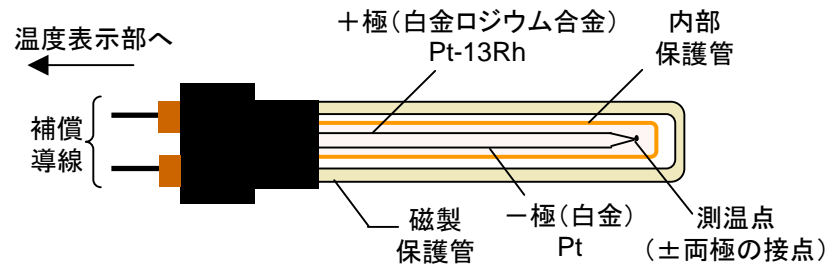
温度表示部

## (2) 炉内の火色を見る方法



各温度での炉内の色の目安(上段)と、実際の観察結果(下段)試験場0.15m<sup>3</sup>ガス窯を使用し、色見穴から炎を直接観察した。

### 補足： 熱電対の構造と特徴

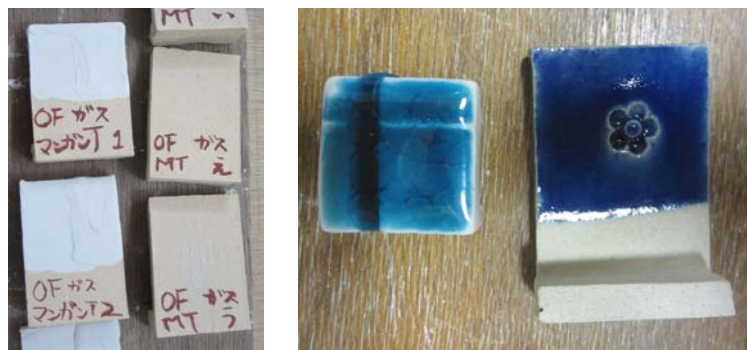


構成材料		常用温度(°C)	特徴
+極	-極		
Pt-13Rh	Pt	1400	ばらつきや劣化が少ない 熱起電力が低く高温測定向き

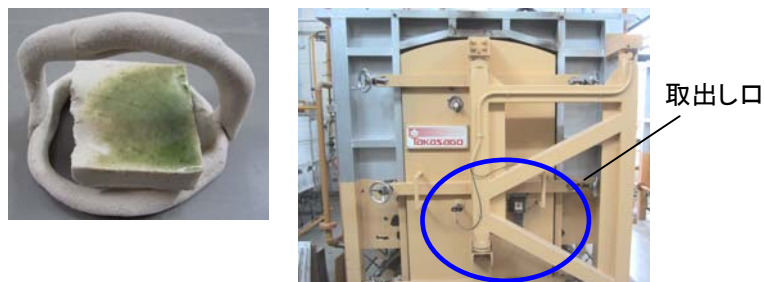
※常用温度・・・空気中において連続使用できる温度の限度

### (3) 釉の色見を用いて測定する方法

釉の熔け具合・流れ具合から焼成温度を推定する



途中で色見を取り出すと熔けたかどうか分かる



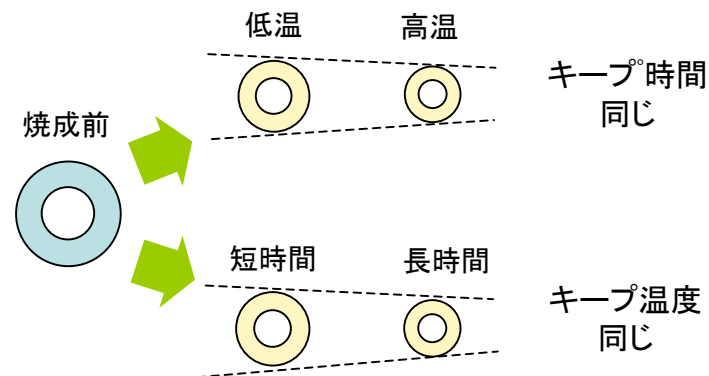
### (4) メジャーリング



一般のセラミックスと同様、加熱すると収縮する。収縮後の径を測定して焼成温度に換算できる熱履歴センサーである。  
(左: 焼成前 右: 焼成後)

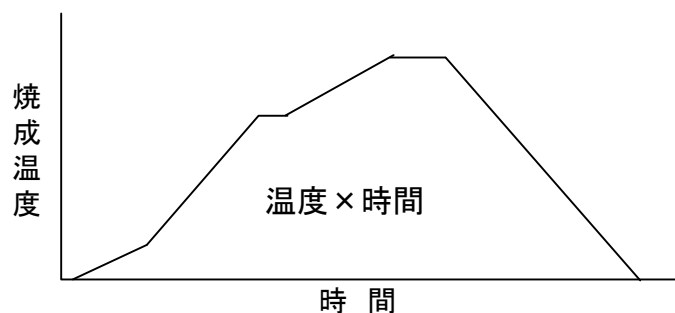
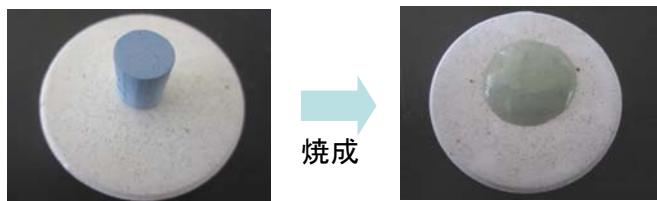
#### ※ メジャーリング径と焼成全体の熱量

メジャーリングは焼成の最後に1時間キープした場合の換算温度で評価する。キープ時間を長く取ると、製品に多く熱量を与えたことになるので径も小さくなり、高温で焼成したことと同じになる。昇温スピードによっても径が変化する。



## (5) ノリタケチップ

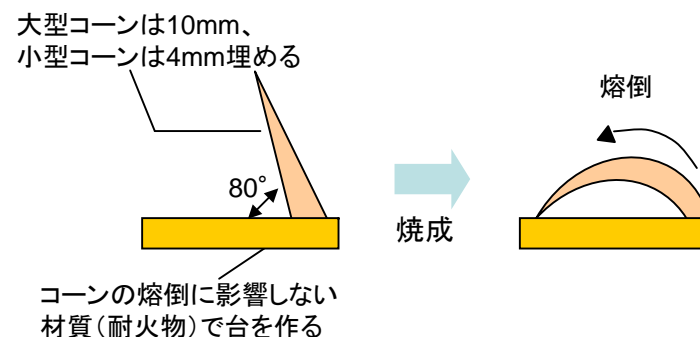
メジャーリングと同様、トータルで製品に与えた熱量を焼成温度に換算する道具。焼成によって熔けるので、熔けた後の径を測定して焼成温度に換算する。



メジャーリング、ノリタケチップともに焼成全体の履歴を温度に換算する道具である。焼成温度が低くても、長時間キープすると高温で焼いた場合と同じ効果になる。焼成にはパイロメーターが示す窯の温度そのものよりもトータルで製品に与えた熱量(=温度×時間)が重要。

## (6) ゼーゲルコーン

粘土や釉の成分を、配合を少しずつ変えながら三角錐状に固めたもの。大型コーンと小型コーンがあり、窯業原料・素地等の焼成温度幅の管理に大型コーンを、耐火度測定に小型コーンを使用。熔倒したコーンの番号でSK×と表す。1230℃で焼成してSK8のコーンが倒れた場合、その焼成はSK8の焼き方となる。(JIS-R2204参照)

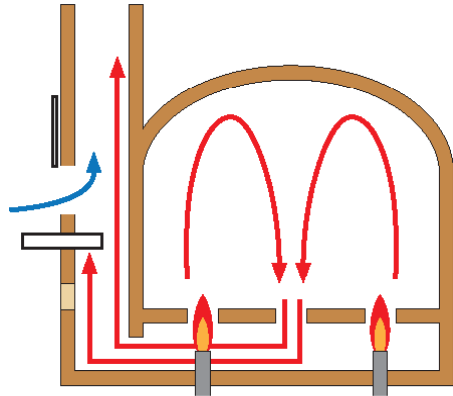


SK番号	熔倒温度(℃)
5a	1180
6a	1200
7	1230
8	1250
9	1280
10	1300
11	1320

# 本焼成 雰囲気気の測定

## (1) 差圧を測る方法

還元が掛かるとガスの引きが悪くなり、炉内に熱気がこもるため炉内圧力は上昇（窯が張る）



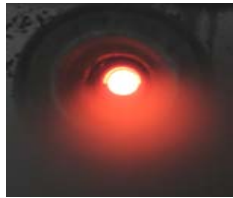

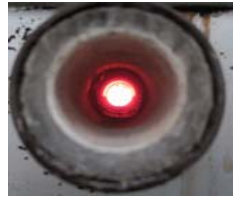

### 差圧計

炉内の気圧と大気圧との差を表示する圧力計。大気中では針は中央（ゼロ）の位置を指す。還元焼成では右（+）にふれる。差圧計を炉に差し込んで炉内にかかる気圧を測定することで還元の掛かり具合を調べられる。



## (2) 色見穴を目視する方法

還元焼成の場合、窯が張るので、炎が吹き出るのが分かる。

	色見穴目視	差圧計
還元焼成		
酸化焼成		

## (3) 釉の色見を利用する方法

左：還元焼成  
右：酸化焼成



その他、一酸化炭素濃度計を挿入して炉内のCO濃度を直接測定する方法もある。



# 焼成に用いる燃料

## (1) 燃料による発熱の違い

	最高火炎温度 (°C)	燃焼限界ガス 容量(%)	発熱量 (Kcal/nm <sup>3</sup> )
天然ガスと 空気	1870	3.0~14.0	8110
プロパンと 空気	2120	2.5~9.5	21290
ブタンと 空気	2130	1.7~9.5	28870

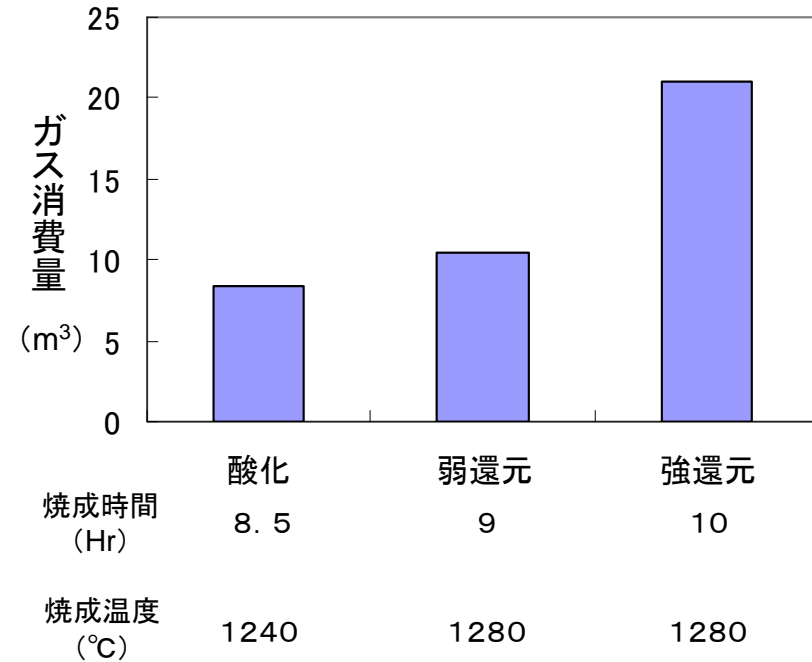
プロパン及びブタンが発熱量が多い。そのため少ない混合量で燃焼する。ガス窯で一般的に使用されるLPガスはブタンとプロパンを7:3の重量比で混合したガスである。プロパンはブタンと比べて低い温度で気化するため、冬場はプロパンの混合比を上げる。

## (2) ガスの混合比

	沸点(°C)	比重
プロパン	-42.07	1.5
ブタン	-0.5	2

ブタンは冬季には液化する恐れがある。そのためブタンとプロパンの混合比を季節に応じて7:3~9:1程度の範囲で変動させて用いる。いずれのガスも空気より比重が大きく、低い所に溜まるため、滞留しないよう通風を良くする。

## (3) 燃料消費データ 一例



データは試験場0.15m<sup>3</sup>ガス窯のもの。酸化に比べ還元の方が高温であり、還元を強く掛けることで温度が上がりにくくなるため焼成に時間がかかる。結果としてガスを多く消費する。



発行元

土岐市立陶磁器試験場  
セラテクノ土岐

〒509-5403

岐阜県土岐市肥田町肥田287-3

TEL 0572-59-8312

FAX 0572-59-1767

発行年月日 2013年1月4日