

陶磁器原料の乾燥難易性の評価法

長谷川龍三 島村 修 永柳 辰一 鳥居 高夫

An Estimating Method of Drying Sensitivity of Ceramic Bodies

by

Ryuzo HASEGAWA, Osamu SHIMAMURA,
Tatsuichi NAGAYANAGI and Takao TORII

陶磁器原料の乾燥難易性を評価する方法を検討した。これは、練土を球状に成形し、60℃の恒温乾燥器に入れ、重量減少量から乾燥速度を求め、乾燥特性曲線を作成し、その限界含水率の値から判定する方法である。この値が11%以上では乾燥困難であり、10%以下では比較的容易である。各種原料、素地に本法を適用したところ、吸湿性のあるモンモリロナイトや微細な粘土鉱物を多く含む素地では、その値は大きく、砂質に富む原料では小さくなる。また多孔質シャモット添加量に応じて、乾燥が容易になる傾向が数値的に把握でき、粒径差による影響も検知できる。

1. まえがき

建築用陶磁器の多くは、練土の押出成形法により生産するが、使用原料が粘土質であること、素地の厚みが大きいことなどのため、乾燥が生産性を支配する主要な因子の1つとなる。そのため、素地、原料の乾燥特性を知ることは、乾燥炉の設計や原料の選択において不可欠な要素である。しかし乾燥を評価する一般化した試験方法はあまり見受けられず、文献その他によく出てくるものは、乾燥収縮や強度の大小による評価法であり、これは現状と一致しない場合も多い。

ここでは、乾燥特性曲線を作成し、寸法変化を伴う恒率乾燥期から、ほとんど寸法は変わらず、残存水分の脱水により重量のみ変化する減率乾燥期へ移行するときの限界含水率の大小で、素地の乾燥性の難易を判定する試験方法の検討と、素地、原料への応用試験を実施した。

2. 実験方法

2.1 測定装置

乾燥速度を測定するには、温度、湿度、風速の制御が必要であるが、これらをすべて満足させると、極めて大掛かりな装置になる。送風操作を全試験期間安定させておくことは至難だし、送風により試料の重量測定が不能になることもある。間

歇的に試料を取り出し測定する方法では誤差が多過ぎる。ここでは、一般汎用機器を組み合わせ、恒温下で重量変化が連続的に測れる図1のような装置を組み立てた。なお、ここに用いた恒温乾燥器は、 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内の温度制御が可能で、電子天秤はインターバル設定ができ、0.01 gまでプリントアウトできるものである。

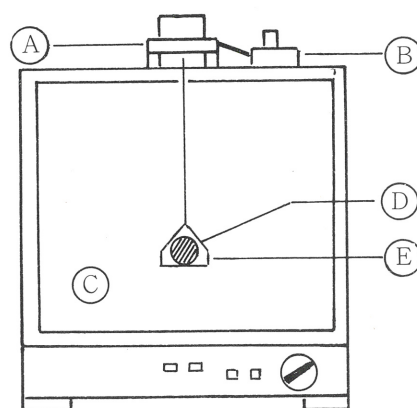


図1 乾燥試験装置

- ① 電子天秤 ② プリンター
- ③ 恒温乾燥器 ④ 試料
- ⑤ 金網籠

2.2 試験操作

乾燥器の上部に小さい孔を開け、細い針金をここに通し、上部に置いた電子天秤の秤量フックにかける。針金の下端には、試験体を載せるための金網籠をつるす。試験体は石膏型を用いて、練土を直径約4 cmの球状に成形する。試験体は、重量 W_1g と直径 R_1cm を正しく測定の後、一定温度に保った乾燥器中の籠に入れ、天秤につるす。試験体のセットが終わったら、その後の水分蒸発に伴う重量減少量を10分間毎にプリントアウトさせ、この状態で約20時間計測を続ける。その後、試験体を取り出し、100℃乾燥器で恒量になるまで乾燥の後、試験体の最終乾燥重量 W_2g と直径 R_2cm を測る。

2.3 試験結果の表示方法

まず経過時間(分)と累積重量減少率(%)の関係を図2のように作成し、図2から変曲点 T_0 分を求める。試験体の収縮は、ほぼここで終了しており、この間は収縮と経過時間は近似的に比例している。従って T_0 分までの試験体の直径は、 T_i 分後の直径 R_{icm} とすると、

$$R_i = R_1 - (R_1 - R_2) \times T_i / T_0$$

で示される。 T_0 分以降の直径は R_2cm である。これらを用いて、経過時間10分毎に単位時間、単位面積当りの重量減少量を算出し、乾燥速度を求める。最後にX軸を含水率(%), Y軸を乾燥速度($g/cm^2 \cdot hr$)にして、乾燥特性曲線を作成し、恒率乾燥期から減率乾燥期へ移行するときの限界含水率を読み取る。これらの作業は計算機で図形処理すると容易である。

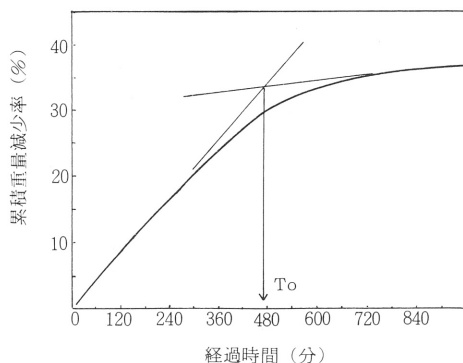


図2 乾燥時間と重量減少率

(作図により収縮終了時間 T_0 分を求める)

2.4 測定温度の影響

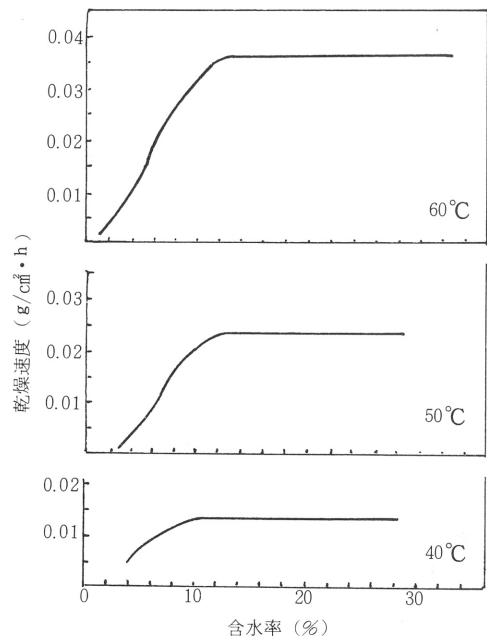


図3 乾燥温度の異なる乾燥特性曲線

乾燥器内の設定温度を変えて測定したときの乾燥特性曲線の変化を図3に示す。図から分かるように温度が低くなると、恒率乾燥期の乾燥速度が低くなり、限界含水率の判定が困難になってくる。また、設定温度を80℃に高くすると、原料の種類によっては試料に亀裂が入り、外部との接触面積が変わるため測定不能になることもある。これらのことから、測定温度は60℃とした。実測に当たっては、乾燥器の性能から59.5～60.0℃の間で制御した。図3からも分るように、60℃測定において乾燥器の温度が1℃変化すると、乾燥速度は約3%変動するので、乾燥器内の温度制御が極めて重要である。

3. 試験結果及び考察

3.1 シャモット添加素地の乾燥性

本試験方法を実際の素地に適用した場合の評価の有効性を検討するための、粘土に多孔質の赤シャモットを配合した素地を作り、限界含水率の変化を調べた。ここに用いた粘土は、限界含水率10.8%で、単独では乾燥性がやや困難とされているものである。赤シャモットは、表1に示す粗粒、

表 1 赤シャモットの粒度分布 (%)

粒 径 (μm)	0 ~ 44	44 ~ 125	125 ~ 250	250 ~ 500	500 ~
粗 粒	30	18	18	23	11
微 粒	82	16	2	0	0

微粒の2種類の粒度構成とした。一般的に、赤シャモットの添加は、素地の乾燥性を改善することが、よく知られている。

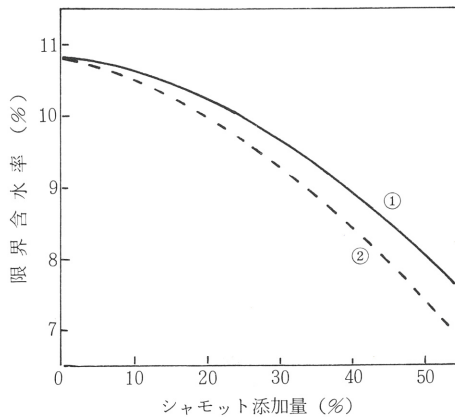


図 4 限界含水率の変化

① シャモット微粒 ② シャモット粗粒

図4に乾燥特性曲線から求めた限界含水率の測定結果を示す。図4は、シャモット配合量が多くなるにつれて、限界含水率が小さくなり、乾燥が容易になる様子を示している。この傾向は、粗粒シャモットの方が効果は大きく、添加量の増加に伴いその傾向は顕著になる。

これらの素地において、限界含水率が低水分側に移行するのは、恒率乾燥期間中に脱水に伴う素地収縮が生じて、多孔質の赤シャモットが連続毛細管を作り、水分移動が継続するためである。この効果は、シャモット粒径があまり微粒になると薄れる。

乾燥収縮に及ぼす赤シャモットの粒径の影響は、図5のとおりであり、シャモット配合量が同一の場合、微粒の方が収縮率は小さくなっている。従って、もし乾燥収縮率の大小のみから、乾燥性の難易を評価したとすると、それは誤った結論になることがある。

一方、従来から知られているビゴーの乾燥収縮曲線から、乾燥敏感性を求め、乾燥の難易性を評

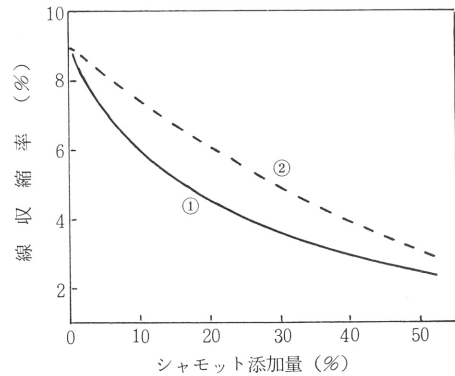


図 5 乾燥収縮率の変化

① シャモット微粒 ② シャモット粗粒

表 2 ビゴー乾燥敏感性の変化

粗粒シャモット 添加量 (%)	0	10	20	30	40	50
乾燥敏感性	1.29	1.24	1.22	0.99	0.79	0.73

価する方法を、この実験に用いた素地に適用したところ、表2のような結果を得た。この場合は、限界含水率の大小から判定した乾燥の難易性の結論とよく一致している。

3.2 粘土の乾燥性の評価

主に建築用陶磁器に使用されている粘土を中心に、その限界含水率の値を調べた。表3に結果を示す。また乾燥に影響を及ぼす原料の主な特性である鉱物組成、粒度分布の測定結果は、表4、5のとおりである。一般に吸湿性に富む微粒子の粘土鉱物を多く含むものは、乾燥困難であり、石英、長石などの砂質分が多くなると、素地組織が粗になるので脱水しやすく、乾燥は容易である。

表 3 粘土の限界含水率

試 料	(粘土の名称)	限界含水率 (%)
1	樽水頁岩粘土	11.96
2	栗東粘土	11.95
3	本山木節粘土	11.72
4	上水野粘土	11.03
5	田糲粘土	10.80
6	富貴赤粘土	10.80
7	瀬戸蛙目粘土	9.43
8	小名田木節粘土	8.74
9	三河粘土	8.51

表4 粘土の鉱物組成 (%)

試料	石英	長石	雲母	カオリナイト鉱物	モンモリロナイト	その他
1	33	20	18	10	6	13
2	33	10	15	17	12	13
3	16	4	3	65	5	7
4	39	3	16	27	11	4
5	43	5	19	18	5	10
6	35	15	14	20	4	12
7	37	3	12	44	0	4
8	55	0	3	37	2	3
9	36	12	9	29	3	11

表5 粘土の粒度分布 (%)

粒径 (μm)	0 ~2	2 ~5	5 ~10	10 ~44	44 ~125	125 ~
1	17	22	15	20	24	2
2	28	34	19	16	1	2
3	47	22	11	2	6	12
4	32	31	14	19	3	1
5	29	24	17	15	12	3
6	32	28	19	7	11	3
7	26	39	15	19	1	0
8	45	29	14	3	4	5
9	29	30	11	4	9	17

表3において、限界含水率が11%を超えるものは、乾燥困難なものであり、10%以下では容易である。10~11%の間は、その中間的な性状である。

山木節粘土が乾燥困難なものに分類されるのは、砂質分つまり石英、長石の含量が20%以下であり、微細な粘土鉱物が70%以上も含まれているためである。

頁岩粘土は、ここで扱った粘土の中で、粘土鉱物量が少く、砂質分が50%以上もあるのに、最も乾燥困難な原料に分類されている。これはX線回折による鉱物分析では、無定形のため断定できないが、性質がモンモリロナイトと類似した乾燥挙動をする非常に吸湿性に富むけい酸質の火山屑を15%内外含むためと考えられる。

栗東粘土は、砂質分の粒径が小さいこと、モンモリロナイトの含有量が12%もあり、さらにそれに類似した挙動を示す非晶質を10%前後含むことのため、限界含水率は大きく、乾燥困難な粘土

に分類される。

上水野粘土は、モンモリロナイトを10%程度含んでおり、乾燥はかなり困難であるが、乾燥を妨げる他の物質をほとんど含まないため、限界含水率は栗東粘土より小さくなっている。それとは逆に、富貴赤粘土は非晶質物質を若干含むが、モンモリロナイトの量が少ないので、乾燥の困難性はかなり軽減される。この傾向は限界含水率の低下に認められる。また田糲粘土と富貴赤粘土との限界含水率の値がほぼ同じなのは、砂質分と粘土分の比率が近似していること、及び粘土分の組成が類似していることから説明できる。

瀬戸蛙目粘土は、粘土分の含有量が多いが、その構成成分がほとんどカオリナイト鉱物であり、モンモリロナイトを全く含まないため、乾燥性は容易になっている。小名田木節粘土の限界含水率が小さな値を示すのは、この粘土はここで用いた試料の中で最も石英量が多く、粘土鉱物もほぼカオリナイトだけなので、乾燥性が非常に良いためである。同様に三河粘土も砂質分が約50%あり、しかもそれが比較的粗い粒度分布をしているため乾燥が容易で、限界含水率は小さな値を示す。

以上のように、粘土を構成する成分や粒度分布と、乾燥特性曲線から求めた限界含水率との間には密接な相関性がある。さらに、この方法による乾燥性を使用したときの経験とも、よく一致している。

3.3 限界含水率と乾燥

乾燥の初期つまり恒率乾燥期においては、素地表面から蒸発する水分量と内部から供給される水分量とが等しいため、素地内部の水分分布はほぼ同じであり、全体として均等に収縮が進んでいる。この状態は、減率乾燥期まで続き、理想的には素地全体がその時点で同時に限界含水率になり全体として収縮がほとんど完了している必要がある。ところが実際の乾燥工程ではこれほどうまくいかず、乾燥の早い部分がどうしても先に減率期に入ってしまう。乾燥の遅れている部分は、まだ恒率の後期にある。つまりこの時点で素地内に水分分布の不均一による素地収縮の差が生じる。従ってこの時点の水分量、すなわち限界含水率の量が小さい方が全体としての水分勾配が小さくなり、乾燥の不均一による収縮差が小さくなる。

以上の理由により、限界含水率の値が小さいものほど、同一乾燥条件下では容易に乾燥できることになる。また乾燥技術としては、恒率期では素地内部と表面との水分移動の差を小さくし、局部的に素地の一部が限界含水率以下にならないよう配慮する必要がある。

4. まとめ

成形した素地を上手に乾燥させるには、可能な限り均一に乾燥すればよいことになっている。しかしながら実際の乾燥工程にあっては、必ずしもそううまくはいかない。そこで乾燥性良好の素地開発を行ったり、個々の原料の乾燥特性を把握することが、生産性向上や品質向上のポイントに

なってくる。しかしながら、原料の乾燥性の難易を評価する一般化した試験方法は確立されていない。

ここでは、乾燥特性曲線を作成し、それから限界含水率を求め、その大きさから乾燥の難易を評価する方法のマニュアル化を図った。大掛りな試験装置が必要な部分は省略し、近似式を使っているので、絶対法としては問題も残るが、実状の乾燥性状とはよく一致している。

謝辞

本研究実施にあたり、終始ご協力をいただいた研究生の愛知工業大学柘植淳二君に深謝致します。