

粘土質原料の乾燥性状

森川泰年* 山本紀一* 田中正洋*

Drying Properties of Clayey Materials by

Hirotooshi MORIKAWA, Kiichi YAMAMOTO and Masahiro TANAKA

陶管および衛生陶器の大物素地の乾燥の迅速化をはかるため、恒温恒湿槽を用いて温度および湿度の変化に対する含水量と乾燥時間、収縮と乾燥時間、収縮と含水量、乾燥速度と含水量の関係、また素地の厚さの相違による乾燥性状、乾燥試料および焼成試料の曲げ強度について坯土および素地について試験した。

乾燥収縮では温度の変化に対する影響よりも湿度の変化による影響の方が大きく、陶管坯土の限界水分は13%附近、衛生陶器では5%附近であった。素地の厚さの差により、乾燥速度も非常に差があり、曲げ強度試験では乾燥する温度および湿度の影響によって強度差が現われていた。

乾燥の迅速化については、陶管素地で普通1か月以上もかかっていたものが2分の1以内で、衛生陶器についても、2分の1から3分の1の期間内で乾燥できる見通しがついた。

1. ま え が き

陶磁器工業における素地の乾燥については、多くの問題がある。特に厚物素地における乾燥の迅速化については困難な問題が多い。大口径の厚陶管を例にすれば、乾燥時間は1か月と言った多大な日数を要することがあり、必然的に乾燥場所も広く取らざるを得なくなっている。厚物陶管工場においては、見方によっては、一見乾燥工場の観さえ見えるほどである。また乾燥に要する手間として、乾燥場所の移動、乾燥素地の反転、亀裂防止のための覆の取り付けおよび除去等があり、労力も非常に必要としている。本研究は厚物陶管および衛生陶器の迅速乾燥を目標とし、原料、坯土および素地について、湿度および温度を変化させた場合の、乾燥収縮、乾燥速度、乾燥時間の関係について試験をし、管理技術の向上に役立たしめるためである。

2. 実 験 方 法

2. 1 原料および坯土

陶管の原料は、愛知県常滑市産出の頁岩を使用し、これに約1割の木節粘土を添加して坯土とした。

衛生陶器の原料は、土岐口蛙目粘土（岐阜県瑞波市産出）、本山木節粘土（愛知県瀬戸市産出）、河合陶名（石川県能美郡産出）、服部陶名（石川県辰口町産出）、平津長石（大津市石山産出）、および石灰石等を表1の調合割合で混合（坯土を作成した）。なお坯土作成手順は、始め、陶石、タルク、石灰石および2分の1の粘土、水等を加えて混練粉碎したのち、さらに2分の1量の粘土を投入し、ミルで混練粉碎し坯土を作成した。

* 試験研究課

表1 衛生陶器坯土の調合割合

原 料	服部 陶石	河合 陶石	平津 長石	土岐口 蛙目	本山 木節	石灰石	タルク
混合割合(%)	28.5	29.0	14.0	8.0	18.0	0.5	2.0

2. 2 原料および坯土の乾燥性状試験

2. 2. 1 試験槽の温度および湿度をかえた場合

衛生陶器の原料である土岐口蛙目粘土および本山木節粘土の試験、陶管および衛生陶器坯土の乾燥性状試験をするが、試験方法は次のとおりである。

(1) 温度と湿度の関係

試験槽の温度が変化した場合の乾燥性状と温度が変化した場合のそれと比較検討するために、表2に示すごとく温度60℃、湿度50%の基準ラインを作成し、試験した。その結果について、乾燥収縮、含水率、乾燥時間、乾燥速度の関連性について研究した。

表2 乾燥性状試験項目

温度(℃) 湿度(%)	30	40	50	70
40			○	
50			○	
60	○	○	○	○
70			○	

(2) 試験体

陶管用の試験体は、製造工程中の製管機から押し出される坯土を切り出し、これを2cm×2cm×10cmの角柱にプレス成形した。なおプレス成形圧は3kg/cm²である。

衛生陶器は、鑄込み素地用の泥しように、石膏の型に入れ、水分を吸収させて板状にし、これを2cm×2cm×10cmの角柱に切りそろえた。

2. 2. 2 坏土の大きさ(厚さ)の相違による乾燥性状試験

試料の大きさは、2cm×2cm×10cm, 3cm×3cm×10cm, 4cm×4cm×10cmの角柱を作成し、槽内温度60℃, 湿度50%とし、乾燥時の性状について検討した。

2. 2. 3 乾燥強度

前項(1)で試験した試料の乾燥曲げ強度試験。

2. 2. 4 焼成強度

前項(1)で試験した試料を、陶管坏土については1090℃, 衛生陶器坏土については1200℃で焼成し、この曲げ強度を測定した。

2. 3 素地の迅速乾燥試験

前記坏土の乾燥試験をもとにして、製造工程に流れている素地の迅速乾燥試験をする。なお、陶管素地は、直径30cm(焼成後)、長さ60cmの厚管を、衛生陶器は、たて56cm, よこ41cmの洗面器を使用した。

2. 4 乾燥性状試験装置

図1は恒温恒湿槽(80cm×90cm×50cm, 温度調節130~180℃, 湿度調節20~80%)である。これに2, 3のごとく増設工事を施し試験した。重量の変化量の検出はロードセル(坏土用には, 100g ロードセルを使用し, 素地用には 100kgロードセルを使用した)を用い, 試料ホルダーを吊して, この中に試験体を置いた。

長さの変化については, 変位測定器(±5mm, ±5cm)を用いて測定した。

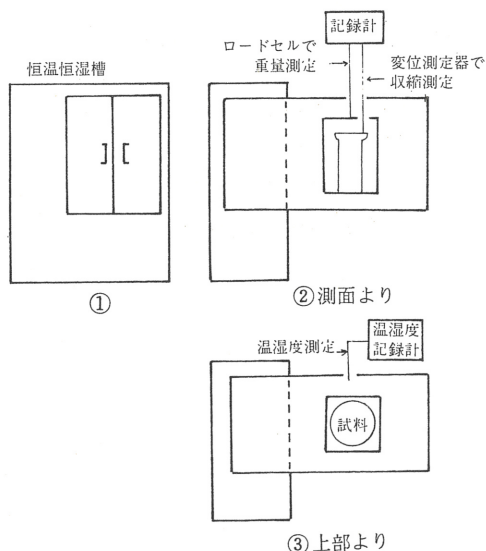


図1 恒温恒湿槽

3. 実験結果および考察

3. 1 基礎試験

陶管, 衛生陶器原料の定量分析等は次のとおりである。

3. 1. 1 定量分析

原料の化学分析値を表3に示す。

表3 原料の化学分析値 (単位%)

原料成分	土岐口蛙目	本山木節	河合陶石	服部陶石	平津長石	頁岩
SiO ₂	49.20	57.10	81.74	77.89	75.26	63.15
Al ₂ O ₃	34.68	29.70	15.36	14.62	15.99	21.26
Fe ₂ O ₃	0.94	0.94	0.44	0.94	0.07	4.04
CaO	0.23	0.33	0.38	0.53	—	0.50
MgO	0.22	0.81	0.04	0.31	0.11	1.10
K ₂ O	0.98	1.02	—	2.04	3.08	2.78
Na ₂ O	1.01	0.50	—	1.10	4.89	
lg. loss	12.69	11.01	2.34	2.81	0.77	7.08
合計	99.95	100.93	100.30	100.24	100.17	99.91

3. 1. 2 X線解析

表4に示す。

表4 原料のX線解析結果

原料	検出成分
土岐口蛙目	カオリナイト, 石英
本山木節	カオリナイト, 石英
河合陶石	石英, 雲母, 長石
服部陶石	石英, 雲母
朝鮮タルク	タルク
赤坂石灰	炭酸カルシウム
陶管素地	石英, 長石, その他
衛生陶器素地	石英, 長石, カオリナイト, 雲母

3. 1. 3 粒度

衛生陶器坏土の粒度分析値は図2に示す。陶管坏土については, 頁岩粘土の粒子の拡散が困難のため測定不可能であった。

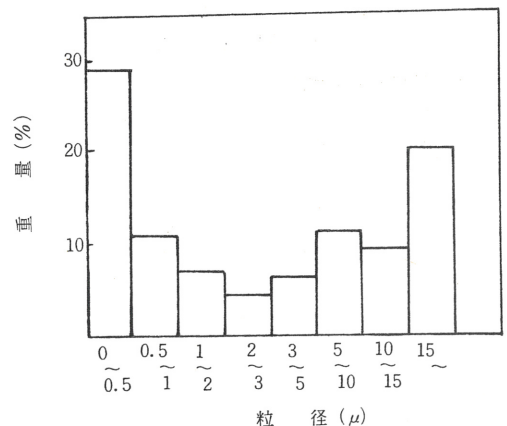


図2 衛生陶器坏土の粒度分析

3.2 原料の乾燥性状 (図3)

本山木節粘土, 土岐口蛙目粘土について, 温度60℃, 湿度50%で測定した。

3.2.1 含水率と乾燥時間の関係

4時間経過するまでは, ほぼ時間と比例して水分が蒸発するが, その後は少なくなる。

3.2.2 収縮率と乾燥時間の関係

1時間30分経過までは, 時間と比例的に収縮がおこるが, その後はほとんど収縮しない。本山木節粘土の収縮率は6.7%, 土岐口蛙目粘土の収縮率は5.9%であった。

3.2.3 収縮率と含水率の関係

含水率20%迄は, 水分の蒸発量とほぼ比例的に収縮しており, 含水率15%附近からは収縮しない。

3.2.4 乾燥速度と含水率の関係

本 山 木 節 粘 土	恒率期間	含水率11%以上
	第一減率期間	含水率11%~6%
	第二減率期間	含水率6%以下
土岐口蛙目粘土	恒率期間	含水率12%以上
	第一減率期間	含水率12%~5%
	第二減率期間	含水率5%以下

本山木節粘土, 土岐口蛙目粘土のいずれにおいても, 恒率期間において乾燥速度が一定していない。この原因として考えられることは, 恒温槽内の温度と試験体の温度が, 槽内設置の始めのうちは差があるため, 両者が同じ温度になる迄図のごとき曲線を描くことが考えられる。

3.3 陶管坯土の乾燥性状

3.3.1 温度を60℃に保持して, 湿度を変化させた場合 (図4)

(1) 含水率と乾燥時間の関係

湿度を一定にして, 温度を変化させた場合と比較すると, 6時間経過後において, 温度を一定にした方が, 含水量のバラツキが大きい。このことは, 水分蒸発量が湿度の影響をかなり受けることが考えられる。

(2) 収縮率と乾燥時間の関係

収縮率は3時間経過後にはほとんど止まり, 湿度の高い程収縮量も少なめにでる。

(3) 収縮率と含水率の関係

収縮率13~14%附近で収縮は止まるが, 槽内湿度の大きいもの程収縮量が小さい。

(4) 乾燥速度と含水率の関係

湿度が多くなる程乾燥速度が遅くなっている。また恒率期間, 第一減率および第二減率期間の明りょうな区別はできなかった。このことは, 陶管の乾燥に注意すべき点と思われる。

3.3.2 湿度を50%に保持し, 温度を変化させた

場合 (図5)

(1) 含水率と乾燥時間の関係

6時間経過すると, ほとんど含水量はなくなる。

(2) 収縮率と乾燥時間の関係

温度を一定にした場合と比較して, 収縮が最終的に一定値を取っている点が大きな違いと思われる。乾燥素地の寸法を測定する場合は湿度を一定にして測定しないと, 焼き上ったものの寸法が違ってくる危険性がある。

(3) 収縮率と含水率の関係

温度を一定にした場合に比較して, 温度の低い程, 含水率が多くても収縮は大きい。

(4) 乾燥速度と含水率の関係

温度の高い程乾燥速度は速い。しかし恒率期間等について明りょうな区別はなかった。

3.3.3 坯土の厚さの相違による乾燥性状 (図6)

(1) 含水率と乾燥時間の関係

厚みの薄いもの程, 乾燥時間が短い。

(2) 収縮率と乾燥時間の関係

2cm厚のものは収縮速度が非常にはよい。4cm厚のものでは2cm厚の約2倍に近い時間をかけて収縮する。

(3) 収縮率と含水量の関係

2cmの厚さのもので含水率15%, 3cm厚8%, 2cm厚で6%と, 収縮の一定になるときの含水量が厚みにしたがって減少する。

(4) 乾燥速度と含水率の関係

水分10%附近が第1限界水分点であり, 第2限界水分点は, はっきりしない。

3.3.4 乾燥試料曲げ強度 (表5)

表5に示すごとく湿度が上りすぎると乾燥曲げ強度が弱くなる。また温度が40℃近くでも弱く, 強度的に良好な点は温度50~60℃, 湿度40~50%附近と思われる。

表5 陶管用坯土の曲げ強度(乾燥試料)

(単位kg/cm²)

湿度(%) 温度(℃)	30	40	50	70
40			40	
50			54	
60		55	52	26
70			52	

3.3.5 焼成試料曲げ強度 (表6)

表6に示す。やはり焼成強度も, 乾燥強度と同じような条件が最適と思われる。

3.4 衛生陶器坯土の乾燥性状

3.4.1 温度を60℃に保持して, 湿度を変化させた場合 (図7)

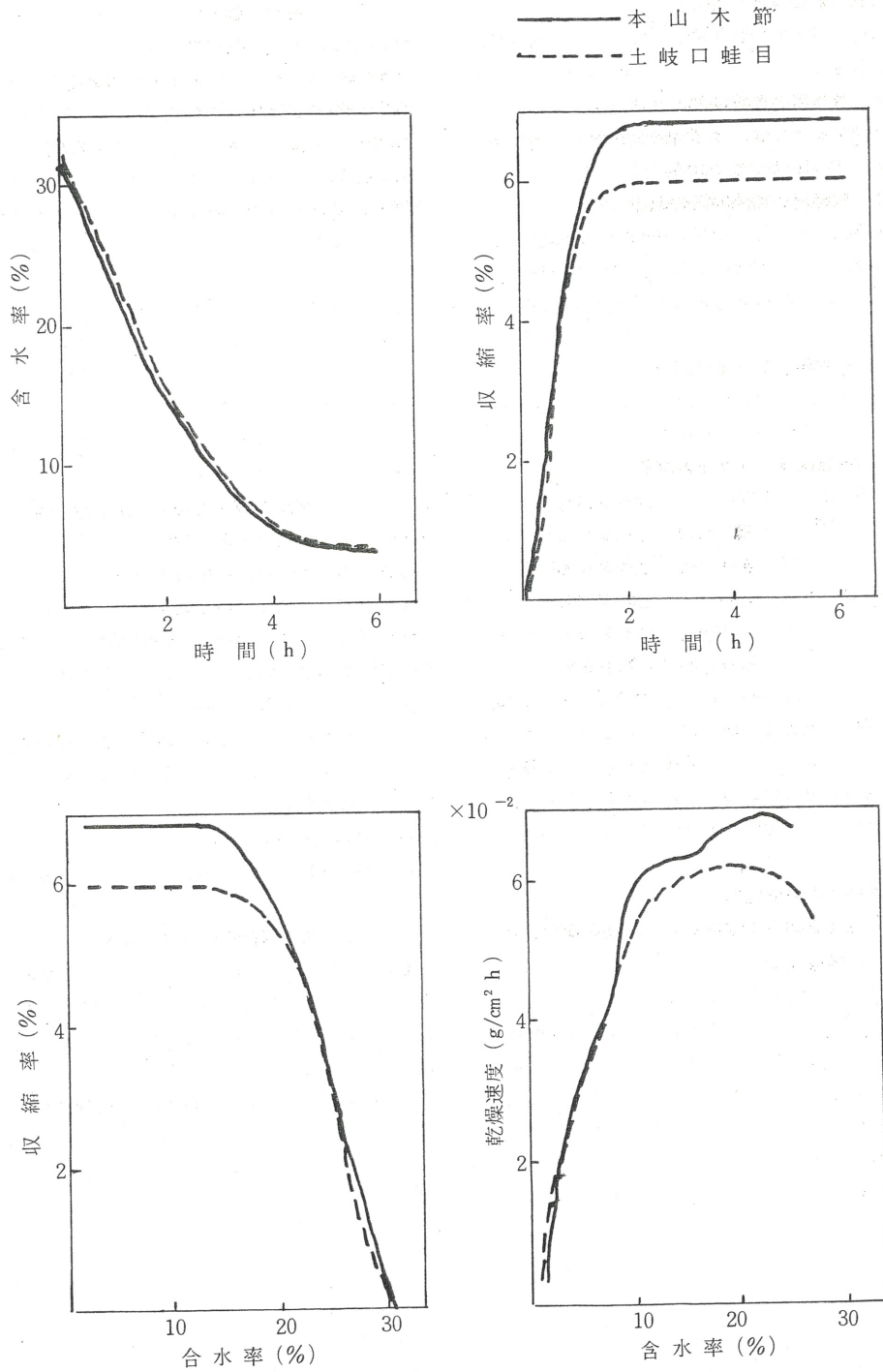


図3 粘土の乾燥性状

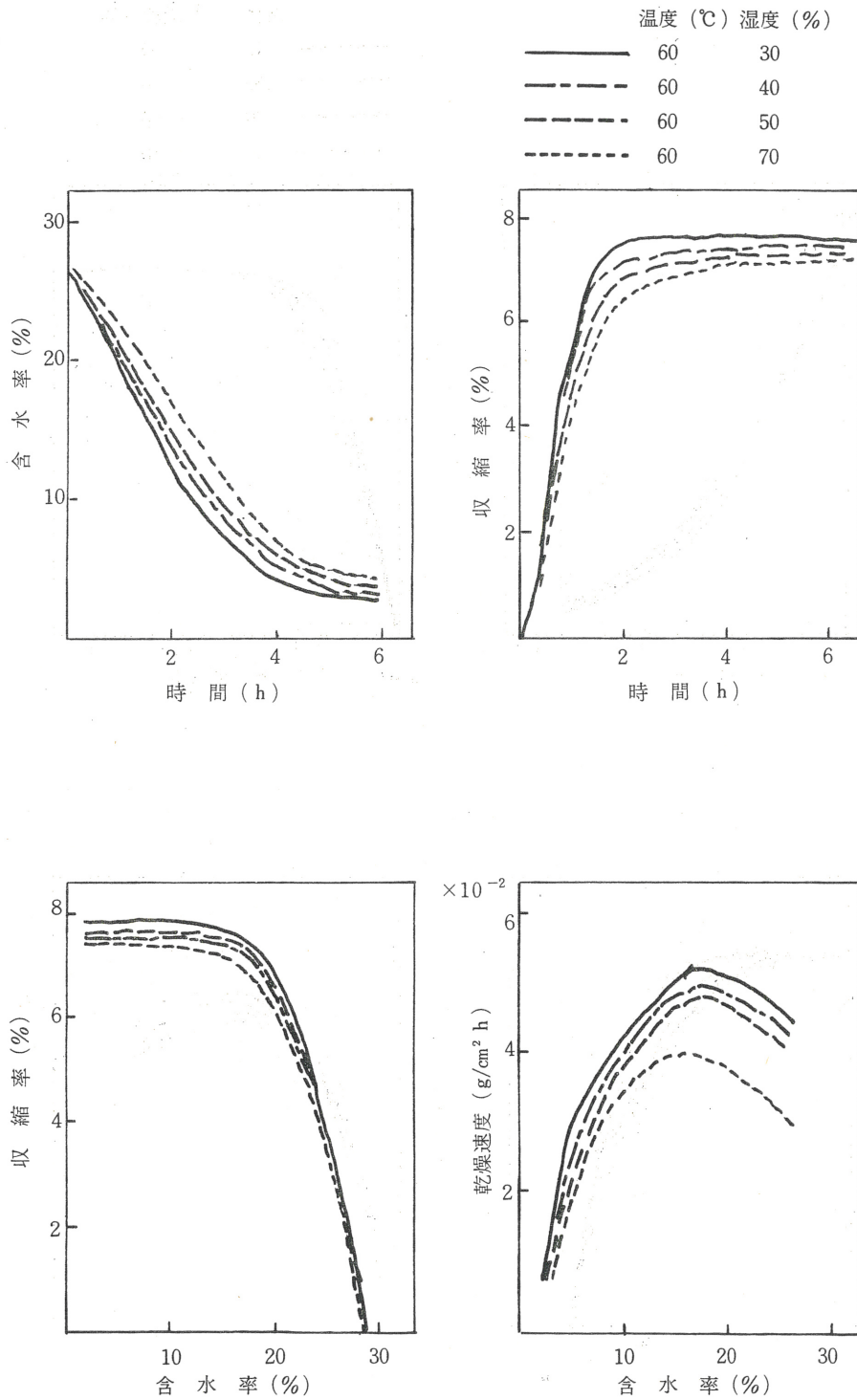


図4 陶管坯土の乾燥性状 —温度を一定にして湿度を変えた場合—

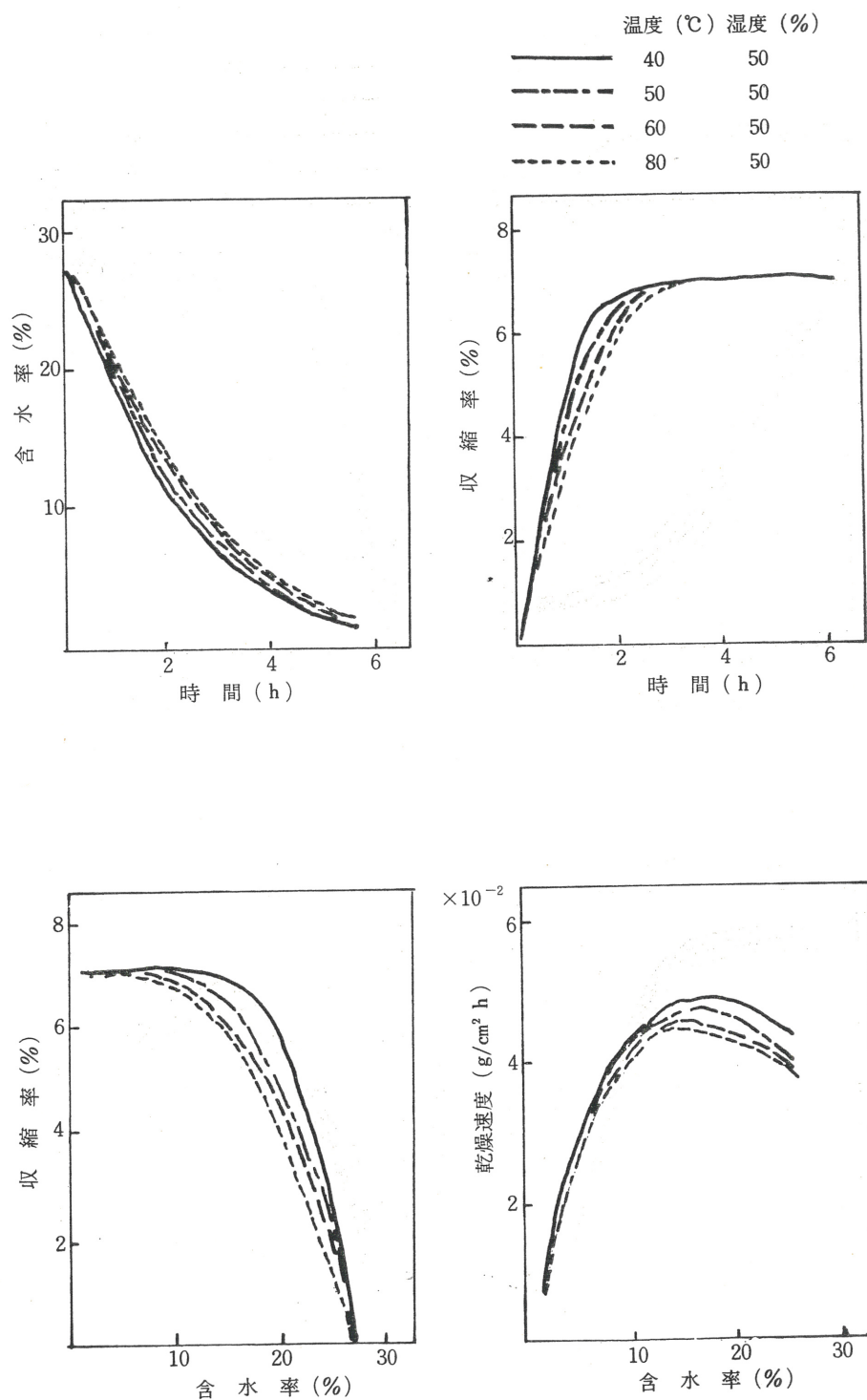


図5 陶管坯土の乾燥性状。—湿度を一定にして温度を変えた場合—

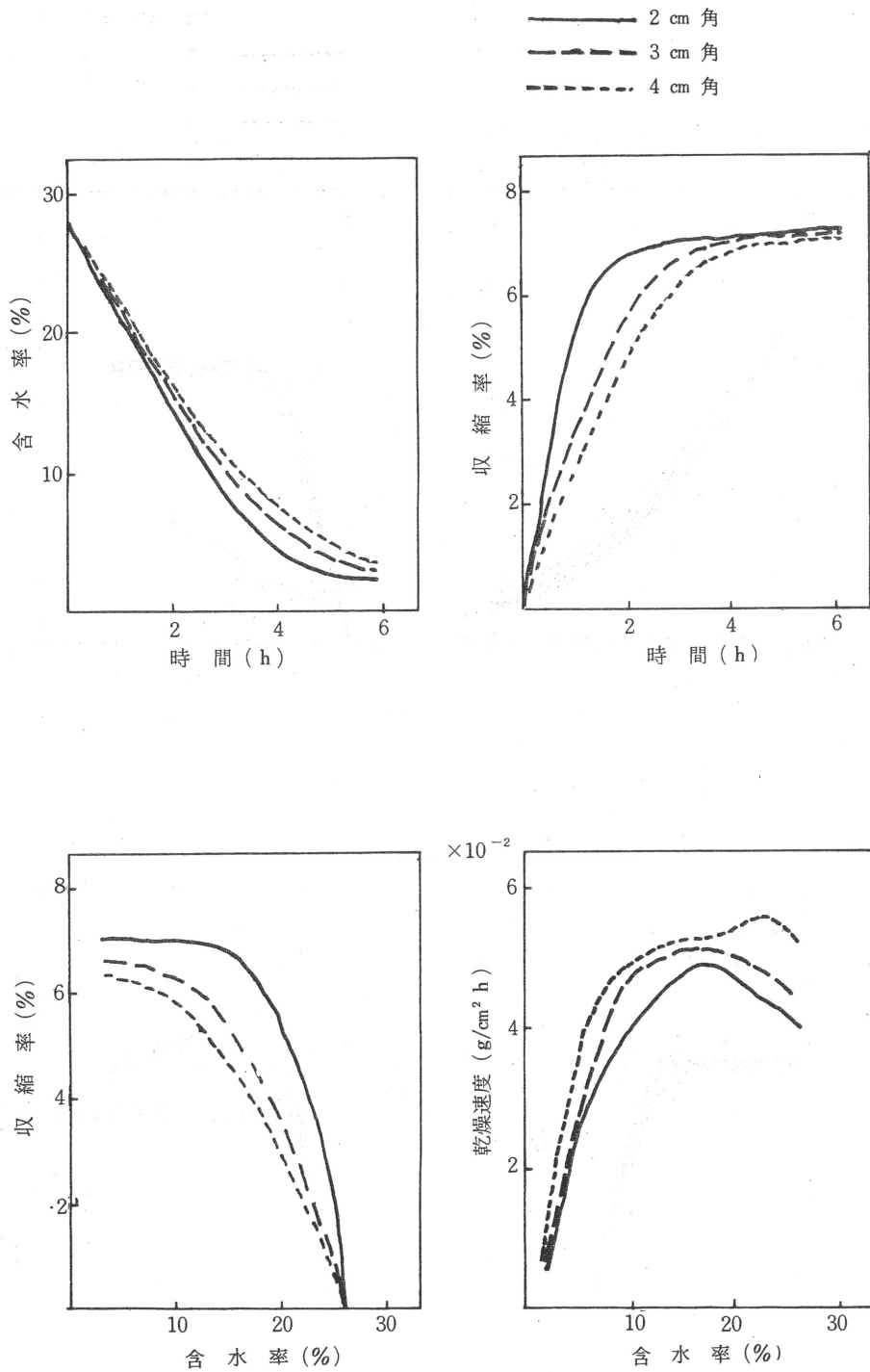


図6 陶管坯土の乾燥性状 — 厚さの変化 —

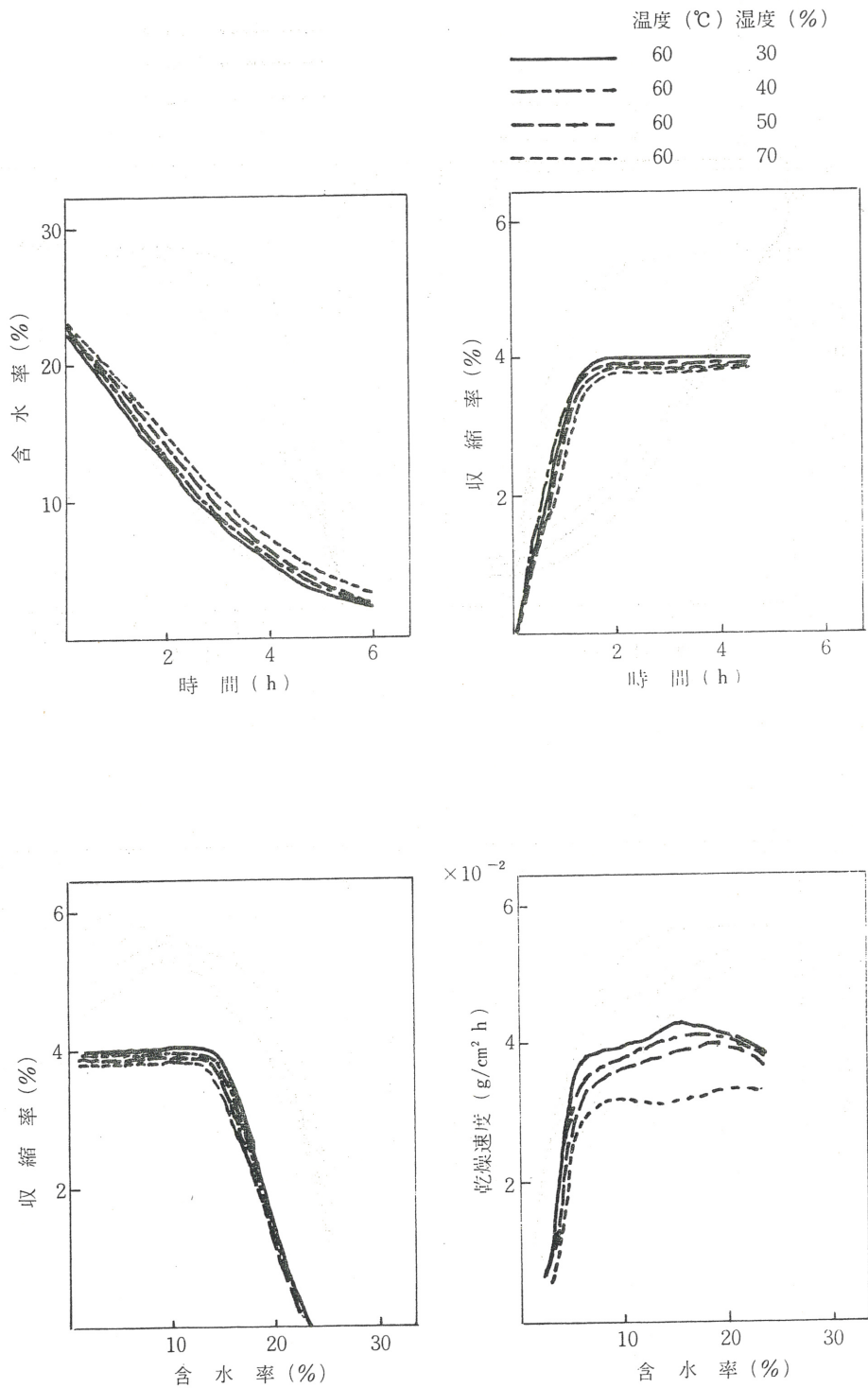


図7 衛生陶器坯土の乾燥性状 —温度を一定にして湿度を変えた場合—

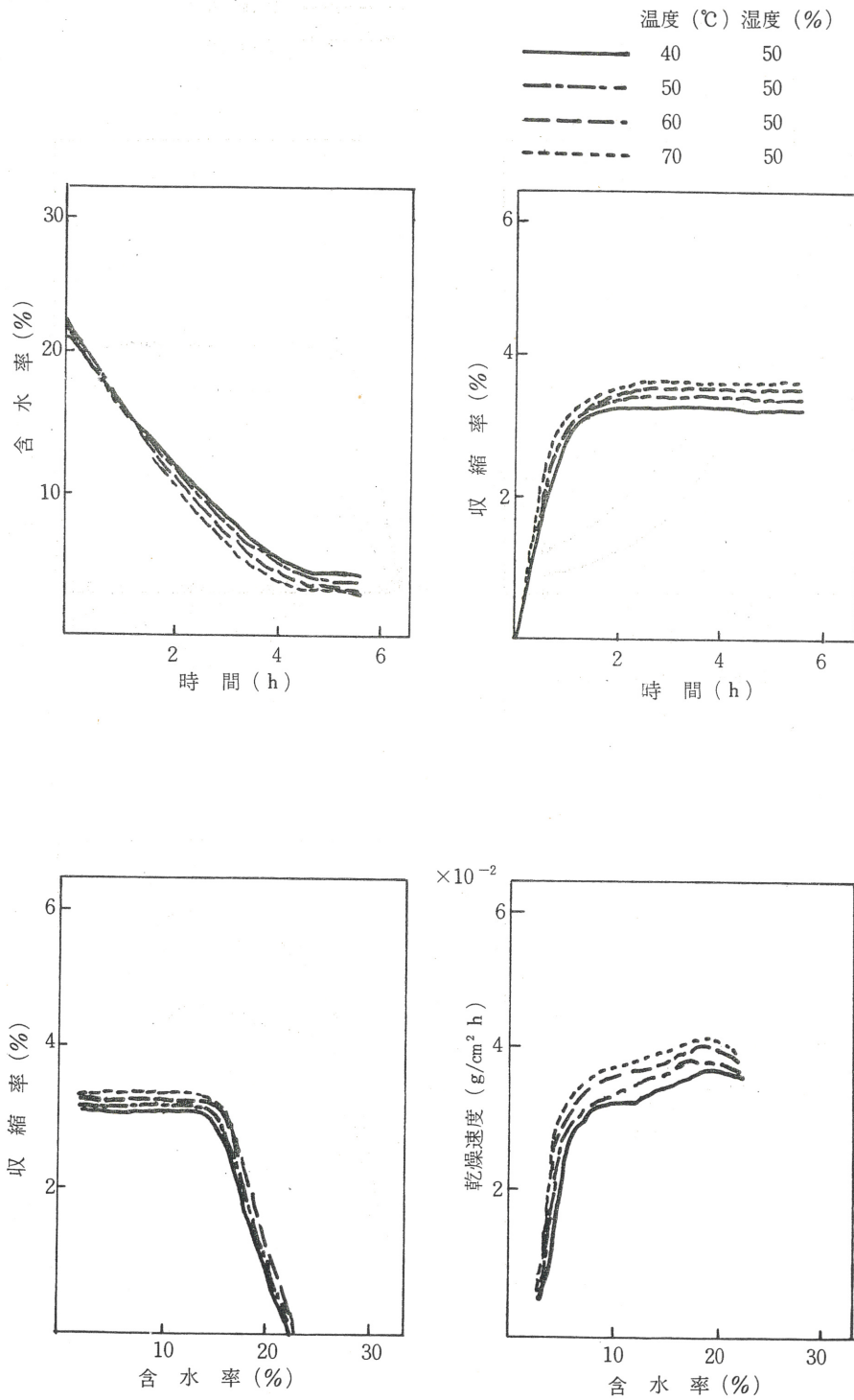


図8 衛生陶器坯土の乾燥性状 —湿度を一定にして温度を変えた場合—

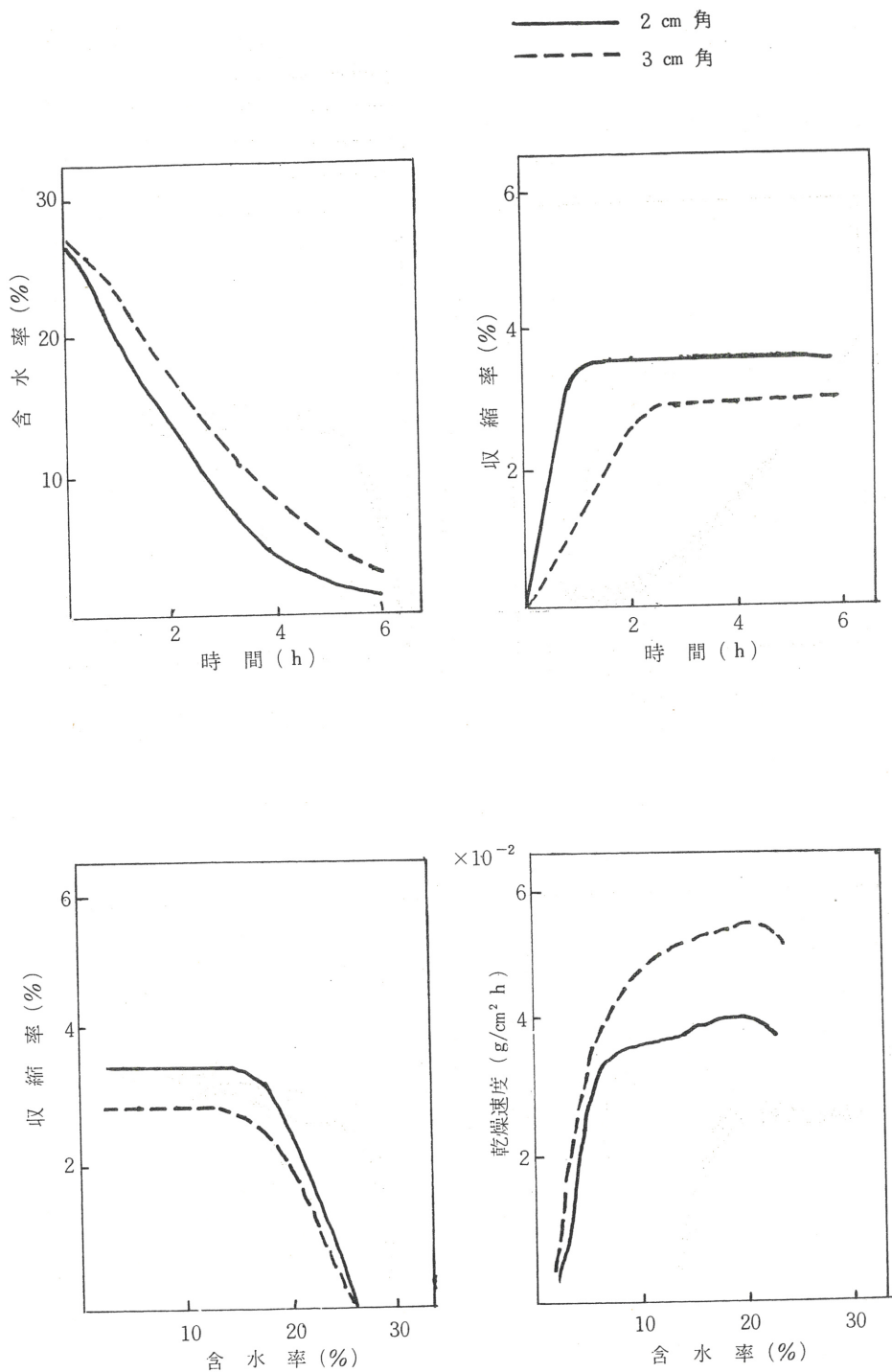


図9 衛生陶器坯土の乾燥性状 —厚さの変化—

表6 陶管用坯土の曲げ強度(焼成試料)

(単位kg/cm²)

温度(℃) \ 湿度(%)	30	40	50	70
40			240	
50			290	
60		250	250	150
70			230	

(1) 含水率と乾燥時間の関係

6時間経過後にはかなりの水分が蒸発している。

(2) 収縮率と乾燥時間の関係

1時間後にはほぼ、収縮がとまり、収縮率は4%である。

(3) 収縮率と含水率の関係

含水率15%附近で収縮は一定となる。

(4) 乾燥速度と含水率の関係

第1限界水分点は含水率6%附近であり、第2限界水分点は明りょうではない。

3.4.2 湿度を50%に保持し、温度を変化させた場合(図8)

(1) 含水率と乾燥時間の関係

5~6時間後には含水率はほぼ一定になる。

(2) 収縮率と乾燥時間の関係

収縮率は3.5%でやや低い。

(3) 収縮率と含水率の関係

収縮のとまる含水量は、約15%である。

(4) 乾燥速度と含水率の関係

第1限界水分点は6%である。含水率10%附近で、段階状になっている。

3.4.3 坯土の厚さの相違による乾燥性状(図9)

(1) 含水率と乾燥時間の関係

2cm厚の試料に比べて、3cm厚の試料は蒸発量が少なく、6時間経過しても蒸発を続けている。

(2) 収縮率と乾燥時間の関係

2cm厚で1時間後、3cm厚で2時間半後にはほぼ収縮率は一定になる。

(3) 収縮率と含水率の関係

2cm厚の試料では、含水率18%、3cm厚では15%附近で収縮が止まる。

(4) 乾燥速度と含水率の関係

2cm厚の試料は、恒率期間がはっきりとしているのに対し、3cm厚の試料では、その点がはっきりしない。

3.4.4 乾燥試料曲げ強度(表7)

表7に示すごとくであり、湿度、温度が高すぎると強度が弱くなる。

表7 衛生陶器用坯土の曲げ強度(乾燥試料)

(単位kg/cm²)

温度(℃) \ 湿度(%)	30	40	50	70
40			27	
50			27	
60		27	27	23
70			21	

3.4.5 焼成試料曲げ強度(表8)

表8に示すごとく、湿度40~50%、温度50~60℃が良い結果がでている。

表8 衛生陶器用坯土の曲げ強度(焼成試料)

(単位kg/cm²)

温度(℃) \ 湿度(%)	30	40	50	70
40			280	
50			460	
60		440	410	390
70			330	

3.5 陶管素地の迅速乾燥試験(図10)

図10に示す乾燥曲線は、迅速乾燥方法の1例であるが、この例のような状態で乾燥すれば、おおむね良好な結果が得られ、1か月近くもかかっていた乾燥時間が3分の1に短縮できる。

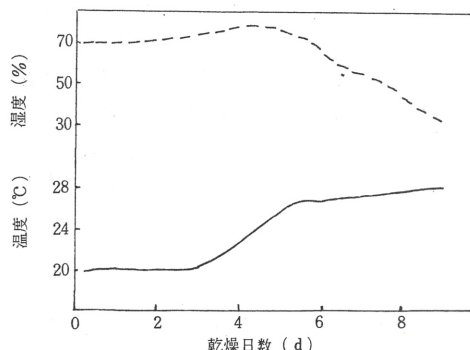


図10 厚陶管素地の乾燥曲線

3.6 衛生陶器素地の迅速乾燥試験(図11)

図11は乾燥速度が約3分の1に短縮した場合の温度および湿度の状態であり、今後もっと研究を重ねることにより、これ以上の短縮も可能であると思われる。

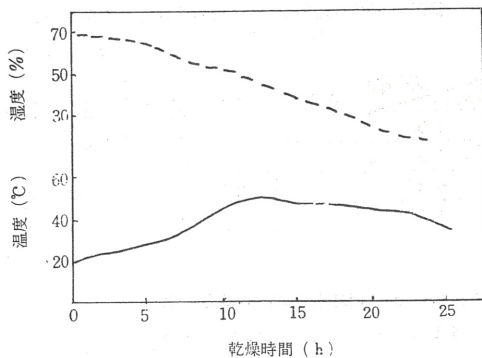


図11 衛生陶器素地の乾燥曲線

4. ま と め

(1) 乾燥温度を変えた場合を、乾燥湿度を変えた場合の乾燥性状において、湿度の影響が大きいものがあった。例えば、陶管坏土の収縮率において、温度が一定で湿度が変わった場合のバラツキは大きかったが、湿度の一定の場合は収縮率は一定となり、寸法管理に注意すべきである。

(2) 一般に乾燥速度と含水率の関係は図12のようになり、恒率期間は素地の収縮が非常にはげしく、亀裂の発生が最も多い時期であると言われており、この試験の第1限界水分を参考にして、乾燥温度等の調節を

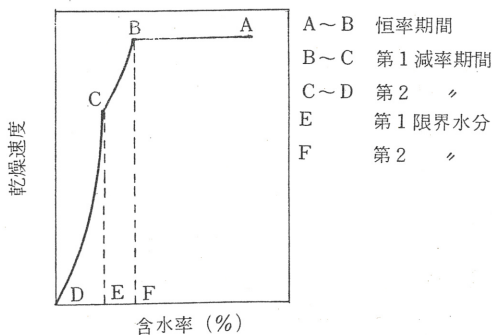


図12 乾燥速度と含水率の関係

すべきである。

(3) 自然乾燥と違って温度をかけたり、湿度を調節するため、素地の乾燥強度および焼成強度にも影響が現われることに注意すべきである。

(4) 厚陶管および衛生陶器素地は、温度等を調節することにより、現在の乾燥時間に比較して2分の1から3分の1にまで短縮が可能と思われる。陶管(口径30cm)のもので、1か月かかるものが1週間から10日間で、衛生陶器においては、3日間のものが1日間の日数で乾燥できる。

なお、本研究についてご指導をいただいた名古屋工業技術試験所内藤部長に深く感謝いたします。

付 記

本研究は、中小企業庁の昭和44年度技術開発研究費補助事業の共同研究として、福井県窯業試験場、京都市工業試験場、兵庫県工業試験場、滋賀県立信楽窯業試験場および当センターの5機関が実施し、指定課題「窯業原材料の管理技術に関する研究」の分担課題として当センターは、標記テーマについて研究したものである。なお、本研究は、中小企業庁主催の普及講習会(愛知県および長崎県)で発表した。

文 献

- 1) 亀井三郎・後原保, 工業化学雑誌36 1561~1574 (1934).
- 2) 亀井三郎・後原保, 工業化学雑誌37 156~162 (1935).
- 3) 亀井三郎・水野成二・監見四郎, 工業化学雑誌38 1074~1079 (1936).
- 4) 亀井三郎, 工業化学雑誌40 560~565 (1937).
- 5) 亀井三郎・塩見四郎, 工業化学雑誌40 565~570 (1937).
- 6) 桐柴良三, 乾燥装置, 日刊工業新聞社 (1966) P 12~27.
- 7) 亀井三郎, 新版化学機械の理論と計算, 産業図書株式会社 (1966) 309~355.