



Title	輸送層による道内産火山灰からのパーライトの焼成
Author(s)	辻, 俊郎; Tsuji, Toshiro; 上牧, 修 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 121, 33-40
Issue Date	1984-05-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41874
Type	departmental bulletin paper
File Information	121_33-40.pdf



輸送層による道内産火山灰からのパーライトの焼成

辻 俊 郎 上 牧 修 久 郷 昌 夫

(昭和58年12月27日受理)

Calcination of perlite from volcanic ashes in Hokkaido using a pneumatic conveyor calciner

Toshiro TSUJI, Osamu UEMAKI and Masao KUGO

(Received December 27, 1983)

Abstract

Experimental results are reported related to the calcination of perlite from volcanic ashes in Hokkaido using a pneumatic conveyor calciner. The experiments were conducted under different operating conditions and bulk densities of the products were measured.

Passing time of particles in the conveyor pipe was less than a few seconds but was sufficient for expanding the perlite. The expanding rate of the perlite was strongly dependent on calcining temperature and increased with the temperature. Bulk density of the products could be well controlled by adjusting the excess air of the burner. Minimum bulk density of the products was $0.035(\text{g}/\text{cm}^3)$. Yields of the products were more than 80%. Preheating of raw materials under excessively high temperature caused a reduction of the expanding ratio of the products.

1. 結 言

近年、不燃性の建築材料が多く使われるようになってきたが、これ等の多くはセメントや石こうを原料としているため、重いのが欠点である。そこでこれを軽くするために原料にパーライトを混入した不燃材料が最近注目されている。

パーライトは火山生成物の中でもガラス質の多い火山ガラスを原料として作られる粒状の無機質の発泡体である。火山ガラスの粒子を高温で瞬時に加熱すると、熔融と同時に結晶中の水分の気化が起り発泡すると考えられている^{1,2)}。

パーライトと類似のもので、単一又は小数個の閉じた気泡を有し、シラスを原料としているものにシラスバルーンと呼ばれているものがある。これについては九州工業技術試験所を中心に多くの研究が発表されており、製法についてもいくつか報告されている^{3,4,5)}。しかしパーライトについての文献は少く、製法は原料や目的とする製品の種類により大きく異なっているようである¹⁾。

道内にも九州のシラスと同様パーライトの原料となる良質の火山ガラスを含む火山灰が数ヶ所ある事が知られている⁶⁾が、ほとんど利用されていないのが実状である。この実験に使用した原料は道内の北見地方の火山灰であり、粒径の非常に小さなものが多い。実験に先立って小型の電

気炉による予備試験を行なった結果、発泡倍率の大きいパーライトを得るためには $1,100^{\circ}\text{C}$ 以上の高温で瞬時に加熱する必要のある事、しかもあまり高温で焼くと発泡性は良好であるが焼成時に粘着性を帯び、炉壁に熔着する事等が明らかとなった。以上の結果からこの原料より良質のパーライトを効率良く得るためには、気流中で瞬時に加熱する輸送層型の炉が適当であると考え、小規模の試験装置を製作し、焼成試験を行なった。

輸送層を乾燥に応用したものとしてフラッシュドライヤーが著明であるが、焼成炉として応用した例はあまり知られていない。しかしパーライトのように特に発泡のために急速に加熱する必要のある場合にはこの型式が適していると思われる。本実験では、あまり知られていない道内産の原石の発泡特性を知るとともに、この型式の炉による焼成特性をも明らかにする事を目的とした。

2. 原 料

使用したパーライトの原料は火山ガラスを多く含む道内北見地方の火山灰である。採掘されたものは水分を $15\sim 25\text{wt}\%$ 含んでいるので、これを熱風乾燥機中で 110°C で $7\sim 8$ 時間乾燥した。乾燥後の原料の粒径分布を図1に示す。原料は粒径の小さなものが多いが、中には数mmの火山れきも含んでいる。これをふるいにかけて270メッシュ \sim 28メッシュのものを焼成試験用の原料とした。この原料の物性値を表1に示す。

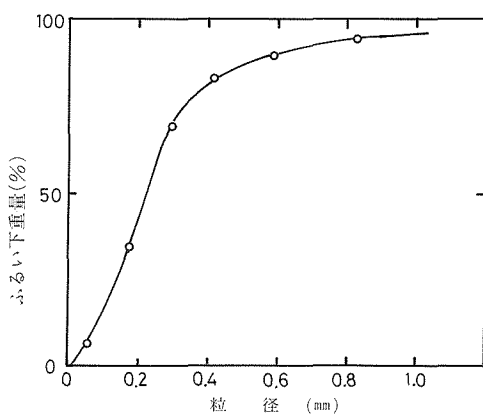


図1 原料の粒径分布

表1 原料の物性値

真比重	2.35	g/cm^3
かさ比重	1.25	g/cm^3
平均粒径	195	μ
比熱	0.27	$\text{cal}/\text{g}^{\circ}\text{C}$
成分 (Wt %)		
SiO ₂	73.14	MgO 0.17
Al ₂ O ₃	11.51	Na ₂ O 3.46
TiO ₂	0.10	K ₂ O 3.48
Fe ₂ O ₃	2.17	P ₂ O ₅ 0.11
CaO	0.94	I.L. 4.68

3. 焼成実験装置

図2に焼成実験装置の概略を示す。原料は①のホッパーから②のテーブルフィーダーにより、 $10\sim 40\text{g}/\text{min}$ の割合で供給される。原料の粒子は最初③の小型の噴流層に送られる。ここで⑤の電気ヒーターで加熱された空気により約 300°C に予熱され、この空気に同伴されて④の炉に送られる。④の炉は内径70mm、長さ120mmの円筒状で、耐火レンガとアルミナセメントで作られており、鉄製の容器内に納められている。この炉には一次空気を予め混合した都市ガスが⑦のパイプから送られており、噴流層からの二次空気と混入されて⑤の輸送管中で完全燃焼する。高温の燃焼ガスが⑤の輸送管中を上昇し、ここでパーライトの発泡が行なわれる。この輸送管は高温に

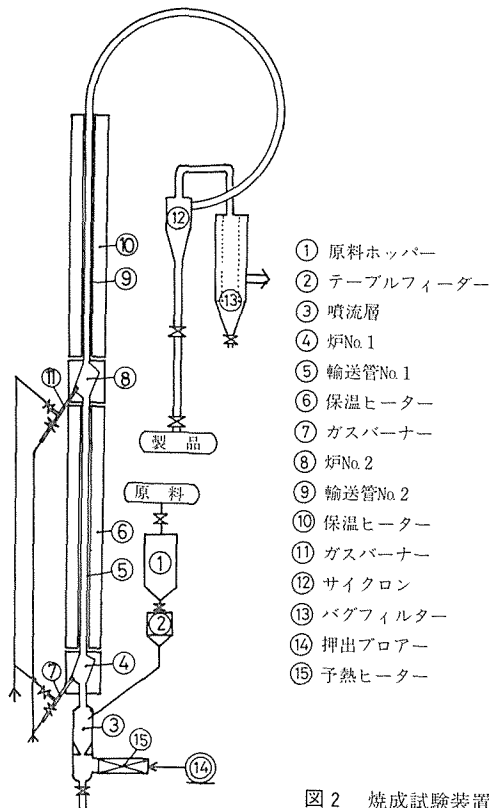


図2 焼成試験装置

耐える様に材質がSUS310SでSch40, 20Aのステンレスパイプを使用した。この部分は保温のために⑥の管状の電気炉内に納められ、輸送管の外壁で $800\sim 900^{\circ}\text{C}$ に保たれた。⑤の輸送管の全長は2mであり、その上にさらに④と同様の炉⑧及び⑤と同様の輸送管⑩があり、全体で2段になっている。しかし実際の実験では後述する様に1段目だけの燃焼で十分発泡が完了した。

発泡した製品は⑫のサイクロンで回収される。排ガスはバグフィルター⑬を通った後吸引プロアーにより吸引しており、④の炉の部分が大気圧になる様に運転した。燃料の都市ガスは総発熱量 $5,000\text{Kcal}/\text{Nm}^3$ 、真発熱量 $4,308\text{Kcal}/\text{Nm}^3$ 、理論空気量 $4.2\text{Nm}^3/\text{Nm}^3$ ガスである。

4. 結果と考察

4.1 輸送層通過時間

焼成試験を行なう前に、常温で輸送層内の粒子の運動を観察した。図2において③の噴流層の部分を取りはずし、ここに管内の空気流れにパルス状に粒子を送り出す装置を取り付け、⑩の輸送層の上部(炉の部分を含めて全長4.5m)より粒子を取り出して粒子の通過時間を測定した。

図3は粒径 0.23mm の約 0.5g の粒子を下部よりパルス状に送り出し、上部からの飛び出し量を1~2秒間隔でサンプルしたものである。輸送管の径が細く、管壁への衝突が多い事と、炉の部分の径が大きくなっているために、粒子のパルスは出口ではかなりの広がりをもってくる。この広がり管内空気流速が粒子の終端速度に近い場合は非常に広がる、終端速度より十分に大きい場合には、通過時間が短くなると同時にパルス巾も短くなる。図4は流速が大きくなると正確な

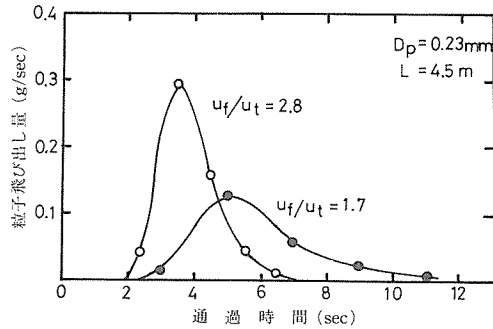


図3 粒子の通過時間と飛び出し量の関係

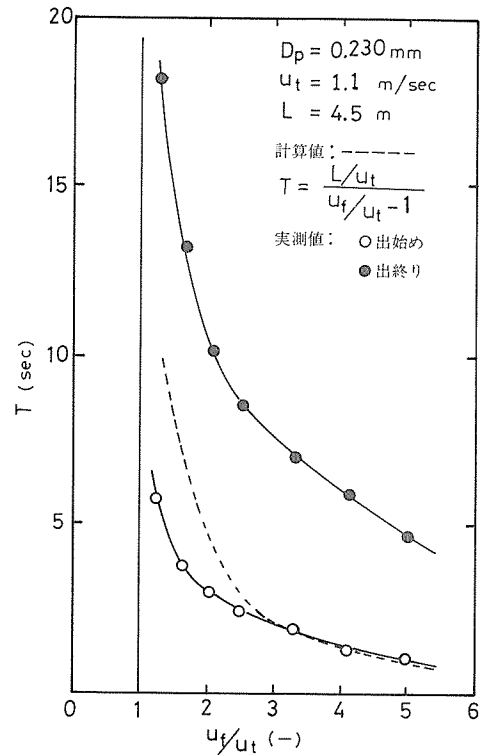


図4 通過時間 T と u_f/u_t の関係

パルスの形の測定が困難であるので、粒子が上から出始める時間と出終る時間をおおよそ目視して測定したものである。今粒子が流速 u_f (m/sec) の気流中を終端速度 u_t (m/sec) だけスリップしながら飛んでいると仮定し、加速時間が無視できると仮定すれば、長さ L (m) の間を粒子が通過するに要する時間 T (sec) は

$$T = \frac{L}{u_f - u_t} = \frac{L/u_t}{u_f/u_t - 1} \quad (\text{sec}) \quad (1)$$

で表わされる。(1)式で計算された値を図4に破線で示した。粒子の出始めの時間はほぼこの値に近いが、実際には上述した理由により多少遅れて粒子が飛び出していると考えられる。

焼成時には非常に高温である事と通過時間が短い事から実際の通過時間は測定できなかった。しかし焼成時には粒子が発泡して密度が小さくなるので通過時間はさらに短くなる事、 $L=2$ (m) で十分発泡した事、実験条件下では $u_f/u_t > 3$ であった事などから数秒以内で発泡が完了しているものと推測した。

4.2 焼成試験

原料の供給量、都市ガスの燃焼量、空気量を変えてパーライトの焼成試験を行なった。製品の評価は使用する目的により異なるが、今回は粒子の発泡状態を端的に表わしている製品かさ密度のみに着目した。発泡したものは非常に軽くてやわらかであるので力を加えると容易に圧縮する。かさ密度の測定は、サイクロンから取り出した製品をメスシリンダーに軽くたたきながら充填し、その容量と重量とから計算した。

最初実験は2段(全長4.5m)で行なったが、実際に焼成を行なってみると1段(2m)で十分発泡が完了する事が明らかとなったので2段目の炉は使用しなかった。

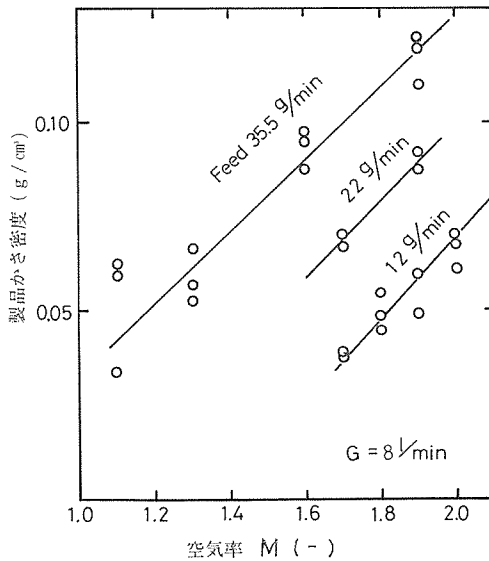


図5 空気率Mと製品かさ密度の関係

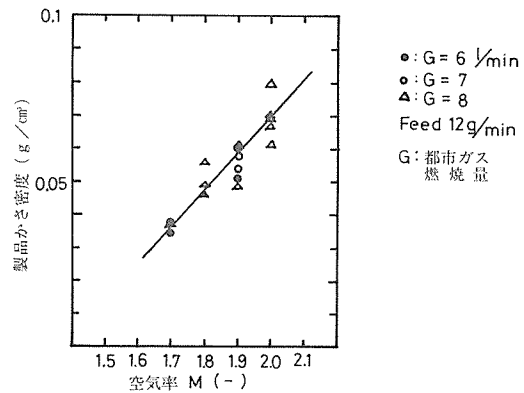


図6 空気率Mと製品かさ密度の関係

焼成条件を変えて実験を行なった結果、製品のかさ密度は原料の供給量 W (g/min) と、空気率 M に強く依存している事がわかった。今燃焼に必要な理論空気量を A_0 (l/l ガス)、実際に炉に送り込んだ空気量を A (l/l ガス) とすると、空気率 M は次式で定義される。

$$M = \frac{A}{A_0} \quad (-) \quad (2)$$

この M の値に対する製品かさ密度の依存性を図5に示した。又、図6に示した様に原料の供給量が一定の場合には、製品かさ密度は燃焼させる都市ガス量、すなわち燃焼排ガスの流量に関係なく M の値にのみ依存している事がわかった。この事からこのパーライトの発泡倍率は実験条件内では燃焼排ガスの流量、すなわち粒子の通過時間に関係なく焼成温度に強く依存していると考えられる。実験した条件下での粒子の通過時間は数秒以内であるので、極めて短い時間に発泡が行なわれると推測される。

発泡は大部分輸送管中で行なわれるが、輸送管が細い事と、熱電対にパーライトが付着する事から焼成時のこの部分の温度を正確に測定する事はできなかった。 M の値に対し焼成温度がどの様に変化するかを知るために、簡単なモデルによる熱収支の式から焼成温度の推算を試みた。

今燃焼排ガスの温度と、粒子温度が等しいと仮定すると次の熱収支の式が成立する。

$$\begin{aligned} & \Delta H_E + Q_s + Q_L \\ & \text{(燃焼排ガスのエンタルピー)} \quad \text{(粒子顕熱)} \quad \text{(熱損)} \\ = & \Delta H_A + Q_G \\ & \text{(二次空気のエンタルピー)} \quad \text{(都市ガスの真発熱量)} \end{aligned} \quad (3)$$

ここで燃焼に使用した都市ガスの燃焼量を G (l) とすると、排ガスのモル数は都市ガスの組成と空気率 M とから次式で表わす事ができる。

$$N_2 : E_1 = \{3.84 + 4.2(M-1) \times 0.79\} \times G / 22.4 \quad (4)$$

$$O_2 : E_2 = \{4.2 + (M-1) \times 0.21\} \times G / 22.4 \quad (5)$$

$$H_2O : E_3 = 0.984 \times G / 22.4 \quad (6)$$

$$\text{CO}_2 : E_4 = 0.553 \times G / 22.4 \quad (7)$$

今排ガスの温度を T ($^{\circ}\text{K}$) とすると(4)~(7)式を用いて

$$\Delta H_E = \sum_i E_i \int_{T_0}^T C_{pi} dT \quad (\text{cal}) \quad (8)$$

C_{pi} : i 成分のモル比熱 ($\text{cal/mol} \cdot ^{\circ}\text{K}$)

となる。又、

$$\Delta H_A = A_2 \int_{T_0}^{T_1} \bar{C}_{pa} dT \quad (\text{cal}) \quad (9)$$

$$Q_S = C_{ps} W (T - T_1) \quad (\text{cal}) \quad (10)$$

$$Q_G = 4308 \times G \quad (\text{cal}) \quad (11)$$

\bar{C}_{pa} : 空気のモル比熱 ($\text{cal/mol} \cdot ^{\circ}\text{K}$), A_2 : 二次空気のモル数 (mol)

T_1 : 炉入口温度 ($^{\circ}\text{K}$), C_{ps} : 粒子の比熱 ($\text{cal/g} \cdot ^{\circ}\text{K}$), W : 粒子の供給量 (g)

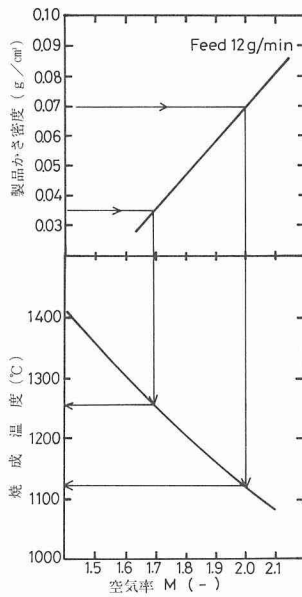


図7 焼成温度の計算値と空気率、製品かさ密度との関係

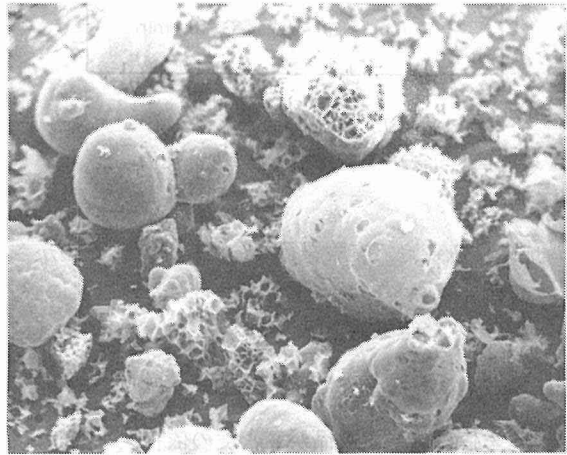


写真1 製品の顕微鏡写真。 $\times 50$
 $\rho_b = 0.059 \text{ g/cm}^3$

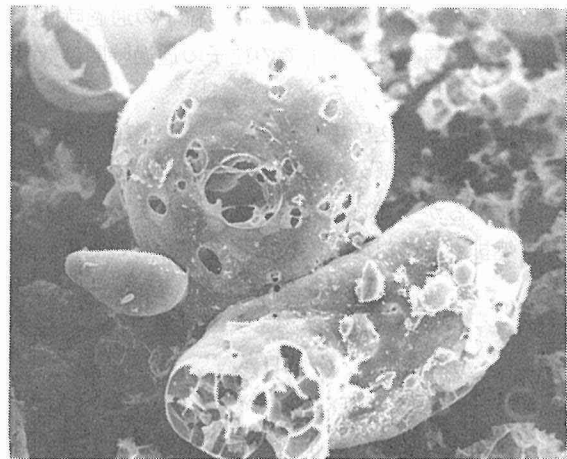


写真2 製品の顕微鏡写真。 $\times 100$
 $\rho_b = 0.059 \text{ g/cm}^3$

と表わす事ができる。 C_{pi} について温度に関し3次の係数までとると(3)式はTについて4次式となる。熱損を10% ($Q_L=0.1Q_C$)として(3)式をNewton法により解き、Mの値に対してTの値を求めると図7のようになった。図6の製品かさ密度と比較すると、かさ密度0.035はM=1.7で約1,260°Cに、かさ密度0.07の場合はM=2.0で1,120°Cに対応する事が理解される。又、実験では図6の条件ではM=1.7以下の場合には製品の熔着が起ってしまい、かさ密度0.035以下の製品を作る事ができなかったが、これはM=1.7以下では焼成温度が製品の熔融温度¹⁾以上になるためであろうと推定される。焼成温度は前述した様に実測が困難で推測の域を出ないが、空気率Mをコントロールする事により製品かさ密度が制御できる事は実用上有用と思われる。

写真1、写真2に製品の電子顕微鏡写真を示した。この写真のものはかさ密度が0.059g/cm³であり、市販のもの⁶⁾と比べても小さい方である。原料の粒径が小さいので製品の粒径も小さいが、1.5mm以下で、市販の保温保冷用の製品⁶⁾とほぼ同等である。写真でみる様に粒子内はいくつものセルに分かれた気泡ができています。又破裂したものも多いが、この場合も各セルの大きさが小さいので形を保っており、そのためかさ密度がそれほど大きくならないものと考えられる。

使用した原料の製品の収率は非常に良く、サイクロンから取り出したものだけでも80%以上であった。下から粒子を送り込む型式であるので未焼成の粒子がサイクロンに飛んで行く事もなく収率が良いと考えられる。また空気率を注意すれば熔着のトラブルもなく一定のかさ密度の製品を得る事ができる。これ等の点から粒径の小さな原料からパーライトを焼成するにはこの様な輸送層による焼成法が非常に適していると考えられる。

4.3 予熱の効果

製品のかさ密度は焼成炉の操作条件の他に原料の予熱条件によっても大きく異なる事がわかった。原料をボートに乗せ、一定温度に保った電気炉で加熱すると、温度200°C~500°Cでは発泡はしないが、図8に示す様に多少減量して軽くなる。この減量したものを焼成した結果図9に

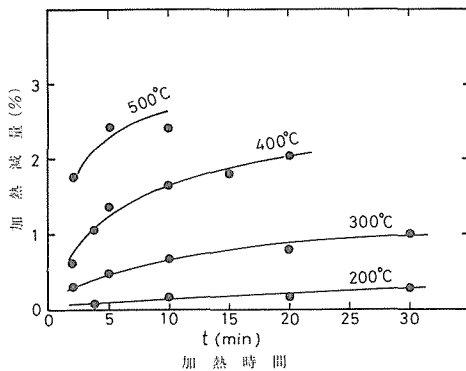


図8 加熱時間と加熱減量の関係

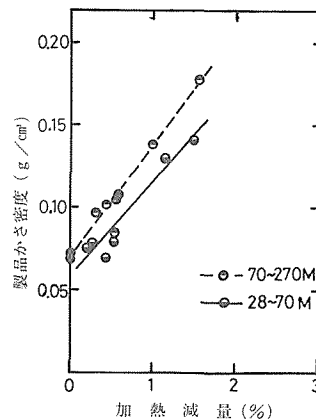


図9 加熱減量と製品かさ密度との関係

示す様にほぼ加熱減量に比例して製品かさ密度が大きくなっている。すなわち加熱減量の割合が大きい程発泡倍率が小さくなると考えられる。この加熱減量の成分は水分と推測され¹⁾、結局発泡に参与する水分が予熱時に多少失われるため発泡倍率が下がったものと考えられる。粒子の予熱はエネルギーの効率上重要であるが、過度な予熱は発泡倍率を下げるので注意が必要である。

5. 結 言

小型の輸送層型の焼成炉を製作し、火山ガラスを多く含む道内北見地方産の火山灰からパーライトを焼成する実験を行なった。

その結果輸送管中の粒子の通過時間は数秒以下であるが、この時間内で粒子は十分に発泡し、発泡倍率すなわち製品のかさ密度はバーナーの空気率でコントロールできる事を認めた。これは発泡倍率が焼成温度に強く依存しているためと思われる。

焼成温度が高い方が発泡の倍率は大きいですが、過度に温度を上げると製品が熔着してしまうため発泡倍率には限度がある。この実験では最小の製品かさ密度は $0.035 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ であった。

また本方式の焼成炉ではバーナーの空気率の調節により熔着のトラブルも無くパーライトを十分な発泡倍率で効率良く焼成できること、原料の過度の予熱は発泡倍率の低下を引き起す原因となることなどが明らかとなった。

参 考 文 献

- 1) 浜野健也, 窯協73〔1〕64 (1965), 73〔2〕32 (1965), 73〔3-1〕52 (1965), 73〔4〕42 (1965).
- 2) 木村邦夫・浜野健也, 窯協 84〔2〕71 (1976).
- 3) 木村邦夫・陣内和彦・諫山幸男, 窯協 80〔2〕48 (1972).
- 4) 木村邦夫・陣内和彦・諫山幸男, 工業材料 21第8号28 (1973).
- 5) 三井茂夫・本間専治・中村衛・馬野清, 化学工学協会第38年会講演集第1分冊 (1973)
- 6) 岡野武雄, 地質ニュース〔94〕12 (1962).