

いぶし瓦用焼成窯の実態について

永柳辰一 榊原 満 田中愛造

Investigation on Kilns for Smoked Roofing-tiles
by

Tatsuichi NAGAYANAGI, Mitsuru SAKAKIBARA and Aizo TANAKA

碧南市、高浜市を中心とする三河地区において使用されているいぶし瓦用ガス窯を対象として実態調査を実施し、その結果にもとづいて、JIS R0302—1971に準じた熱勘定を行なった。これによれば、いぶし瓦用ガス窯の熱効率は24～40%と極めて高い数値を示している。また、出熱を項目別にみると、放射伝導その他不明損熱と排ガスの顕熱の2つが大きな割合を占め、この両者で全体の45～65%に達している。一方、焼成品1トンあたりの燃料使用量は、LPガス88～144kgであるが、全体的な傾向として単位容積あたりの窯詰量が大きければ大きいほど相対的に燃料使用量は小さくなるのが認められた。

1. ま え が き

三河地区においていぶし瓦の焼成にガス窯が使われるようになったのは昭和45年頃からであるが、公害防止対策の面からも作業性の面からも極めて有利であったため急速に普及し、今日では伝統的なだるま窯に代って主流の座を占めるに至っている。しかしながら、ガス窯に関する熱的データについての報告は極めて少なく^{1), 2)}、その実態はほとんど知られていない。このため、いぶし瓦用ガス窯を対象として実態調査を実施し、その実状を把握するとともに、熱勘定を行なって熱の使用状況を解明し、省エネルギーのための熱の有効利用の方策について知見を得たので報告する。

2. 調 査 方 法

調査は、JIS R0302—1971「陶磁器および耐火レンガ焼成用単独がまの熱勘定方式」の中の「かまに関する記録」および「測定事項」にもとづいて作成した調査表を用い、16基の窯について行なった。調査の対象としたのは、ボックス型、シャトル型、スライド型およびハット型のガス窯であるが、参考のため最近出始めた灯油窯を1つ調査対象とした。なお、熱勘定を行なうにあたっては、付着水分および結晶水分の割合を焼成品のそれぞれ3%および4%、焼成品の粘土分は瓦用配合土の分析結果から50%、LPガスの発熱量(低発熱量)は11000Kcal/kgとした。

3. 調 査 結 果

3.1 焼成といぶし操作

表1にいぶし瓦用焼成窯の実態調査結果を示す。これをもとに三河地区におけるいぶし瓦焼成の現状をみると、焼成の最高温度は1010～1100℃、焼成時間22～32時間で、燃料使用量は製品1トン当り、いぶしに要す

るガス量も含めて、LPガス90～150kgとなっている。

しかし、寒冷地向けの瓦で特に耐寒性を要求される場合、例外的に1200℃前後の高温で15～17時間の短時間焼成を行なっている工場も見受けられた。焼成工程につづくいぶしの工程においては、930℃前後からくん化ガスの投入を始め、およそ800℃近くで投入を終了する。いぶし操作に要する時間は60～90分である。

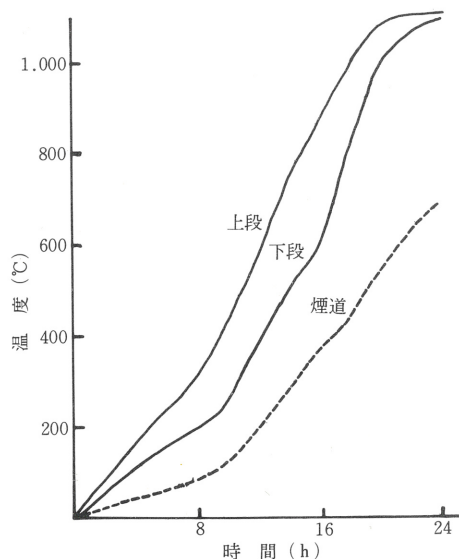


図1 C工場における焼成温度曲線

図1に焼成の例として、C工場におけるボックス窯の焼成温度曲線を示す。図中、上段および下段として示したのは、窯のそれぞれ上段および下段温度で、煙

表1 いぶし瓦用焼成窯の実態調査結果

工場の名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
窯の型式	ボックス	ハット	ボックス	ボックス	ボックス	ボックス	シャトル	スライド	ハット	ハット	スライド	ボックス	ボックス	ボックス	シャトル	ボックス
窯の内容積 (m³)	10	6	6	10	6	6	7	7	7	6	7	6	7	7	6	6
窯詰量 (白素地トン)	6.56	4.06	3.36	6.06	3.70	3.43	3.84	3.85	3.04	2.73	4.18	2.75	3.03	3.61	3.08	3.15
燃料の種類	LPG	LPG	LPG	LPG	LPG	LPG	LPG	LPG	LPG	LPG	LPG	LPG	LPG	LPG	LPG	灯油
燃料使用量 (kg)	540	380	335	620	380	380	450	460	400	350	550	350	400	470	415	478
製品トン当りの燃料使用量 (kg)	88	100	106	110	110	119	125	128	141	137	131	136	141	139	144	125
燃料費 (円/トン焼成品)	5,110	5,820	6,190	6,350	6,370	6,870	7,270	7,410	8,170	7,960	7,895	7,900	8,200	8,090	8,360	5,311
焼成時間 (時間)	26	23	24	28	29	27	22	32	17	15	30	23	25	27	35	22
焼成温度 (°C)	1,020	1,090	1,100	1,060	1,060	1,070	1,030	1,060	1,230	1,160	1,100	1,010	1,050	1,020	1,060	1,030
空気過剰係数	1.9	1.5	2.1	1.6	1.6	1.6	1.6	2.6	1.3	1.2	1.6	2.4	2.6	2.2	1.6	2.6
入熱	燃料の燃焼熱	100	99.4	98.7	97.9	98.6	98.2	99.4	98.6	98.9	98.7	99.9	100	98.8	99.7	100
出熱	窯の蓄熱量	—	0.6	1.3	2.1	1.4	1.8	0.6	1.4	1.1	1.3	0.1	—	1.2	2.0	0.3
付着水分の蒸発熱	1.9	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.5	1.2	1.2	1.2	1.4
結晶水分の蒸発熱	3.4	3.0	2.8	2.7	2.7	2.5	2.4	2.3	2.1	2.2	3.0	2.2	2.1	2.1	2.1	2.8
粘土の分解熱	13.4	11.7	10.9	10.6	10.6	9.8	9.4	9.1	8.3	8.5	5.8	8.7	8.3	8.3	8.2	5.5
未焼成品の焼成に要した熱	20.4	19.1	18.0	16.7	16.8	15.7	14.4	14.5	15.3	14.8	15.1	13.1	13.0	12.6	13.0	13.2
窯道具の加熱に要した熱	0.3	1.3	2.1	0.6	0.7	0.2	1.4	0.2	8.5	6.6	1.8	0.2	0.3	0.5	0.8	1.9
窯の蓄熱量	12.4	17.1	11.1	17.9	11.5	15.0	16.6	8.8	15.3	13.7	10.7	14.8	12.7	17.3	13.9	15.7
排ガスの顕熱	24.4	20.1	22.7	14.1	14.2	19.8	16.6	30.5	14.4	12.9	17.7	29.1	31.0	24.4	16.2	34.5
放射伝導その他不明損熱	23.8	26.0	30.8	35.9	42.0	35.6	37.9	33.3	34.9	39.1	44.4	30.7	31.4	33.6	44.6	25.0
焼成品の熱効率 (η)	39.2	35.7	33.7	32.2	32.1	29.9	27.7	27.5	27.2	27.0	25.4	25.2	24.8	24.8	24.5	22.9

$$\eta = \frac{Q}{W_b \times H_L} \times 100 \quad \text{ここに: } Q: \text{焼成品1トン当りの有効熱 (KCal)} \quad W_b: \text{焼成品1トン当りの燃料の使用量 (kg)}$$

H.L.: 燃料の低発熱量 (KCal/kg)

いぶし瓦用焼成窯の実態について

道として示したのは煙道における排ガスの温度である。

図から明らかなように上段と下段とでは昇温速度が異なり、上段の方が下段よりも昇温速度が大きい。平均でみると焼成時間20時間までは、上段で54℃/h、下段で50℃/hで、上下の温度差は300℃近い箇所がでてくる。この温度差は高温になるにつれて次第に小さくなっていくが、それでも最高温度において100℃位の差があるため、これをある程度までそろえようとすると十分な焼成を行なうため、いわゆる「ねらし」に入り、これが約4時間続いて焼成を終る。焼成時間は24

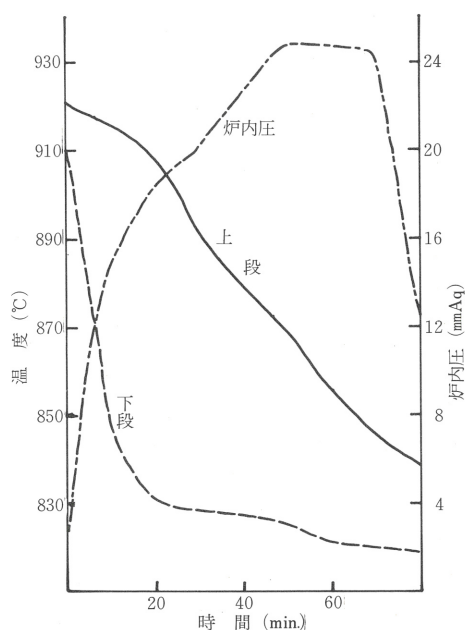


図2 C工場におけるいぶし操作
(LPガスの場合)

時間である。いぶし操作を図2に示す。この場合、いぶし操作に要した時間は約70分で、上段温度で言えば、920℃でくん化ガスの投入を始め、840℃で投入を終了する。くん化ガスの投入により下段は急激な温度低下を示すが、上段は比較的ゆるやかな勾配を示す。

くん化ガスの投入開始後20分で下段の温度低下は急速に鈍化し、上下の温度差は再び接近し始める。この間炉内圧は下段の温度に反比例した形で上昇し、投入開始後50分で最高の24.5mmAqに達し、20分ほど横ばいに近い状態を続けた後、急速に低下する。一般にガス窯で焼いた瓦はだるま窯のそれと比較して、いぶし銀の光沢が悪いと言われている。ガス窯の場合、くん化材としてLPガスを用いるため、くん化ガス濃度がだるま窯の場合とくらべて濃すぎるのが原因とされてお

り、その改善のため、水の添加、炭酸ガスの混入が効果のあることが報告されている^{3), 4)}。そのためいぶし操作の過程で実際に炭酸ガスの混入を行なっているのを、それを図3に示す。図はLPガスと炭酸ガスの容

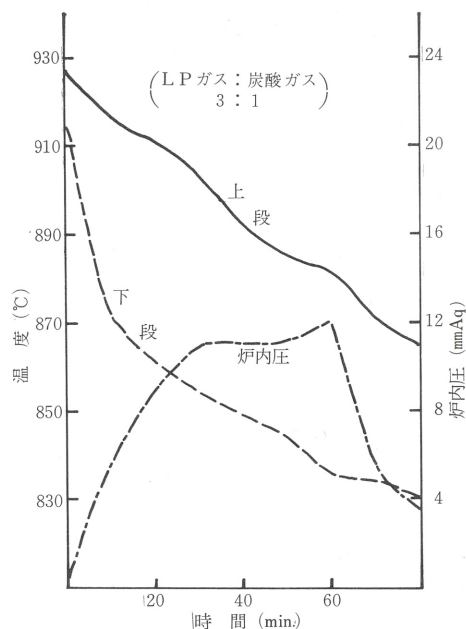


図3 C工場におけるいぶし操作
(炭酸ガス混入の場合)

積比が3:1の時のものであるが、図2と比較した場合、温度の低下がかなり緩和されており、炉内圧も半分位になっている。また、投入したくん化ガス量も少し減っている。

3.2 熱勘定

熱効率率は、24~40%の間にあり、従来のだるま窯と比較すると格段に高い値を示している。出熱を項目別にみると、放射伝導その他不明損熱と排ガスの顕熱の2つが大きく、この両者で全体の45~65%程度を占める。次いで未焼成品の焼成に要した熱、窯の蓄熱、粘土の分解熱の3つが大きく、他はぐっと小さくなっている。しかし、棚積みを行なっている場合は、棚板の加熱に多量の熱を要するため、窯道具の加熱に要した熱の出熱に占める割合が大きくなる。例えば棚積みを行なっているI、J2工場の場合、窯道具の加熱に要した熱がそれぞれ8.5および7.6%を占めており、これはほぼ粘土の分解熱に匹敵する大きさである。

3.3 空気過剰係数

空気過剰係数は、1.2~2.6とかなりのばらつきがある。全体としては、1.6のところが多いが、2をこ

えているところもかなりある。燃焼効率の面から言えば、空気過剰係数は小さいほどよく、2をこえるところがあるということとは問題であろう。ただ、ガス窯の場合ほとんどがベンチュリーバーナーを使用しているため、空気過剰係数を制御することは困難な面があり、バーナーの改良等を考える必要がある。

3.4 窯詰量と燃料使用量

図4は、焼成品1t当りの燃料使用量(y)と単位容積当りの窯詰量(x)との関係を示したものである。

ただし、窯詰量は焼成品換算の数値である。これによれば、単位容積当りの窯詰量が大きくなればなるほど燃料使用量は減少する傾向が認められ、回帰直線は

$$y = -195.6x + 221.5$$

で表われ、相関係数 r は

$$r = -0.75$$

となる。従って窯詰量を多くすれば燃料使用量は相対的には減少することがわかる。しかし、炎の回りを考えると、余り窯詰量を多くするのも得策とは言えず、0.65t/m³程度が限度と考えられる。

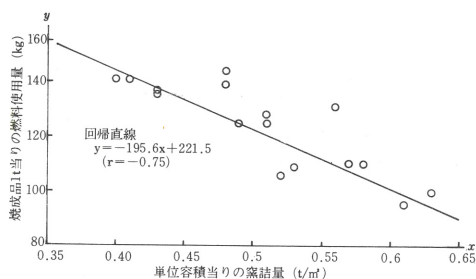


図4 窯詰量と燃料使用量の関係

3.5 熱の利用状況

窯から出る熱で利用可能なものとしては、窯表面からの放散熱と排ガスの顕熱の2つが考えられる。このうち、窯表面からの放散熱は程度の差こそあれ、瓦生地乾燥に利用している。本格的に利用しているところ

ろでは、窯の上に乾燥室を設けているところもあるが、窯の周囲に棚を組んで瓦生地をたてかけ乾燥しているところもある。もう一つの排ガスの顕熱については全く利用していない。排ガスの顕熱が出熱に占める割合は、12.9~31%の大きく、また図2に示したように排ガスの温度は最高600~700℃に達し、回収も比較的簡単にできるので、この熱の現実的な利用の途を考える必要がある。

4. ま と め

実態調査により、いぶし瓦用焼成窯(ガス窯)は、24~40%という高い熱効率を持つことがわかった。しかし、省エネルギーを推進するうえからはまだまだ改善すべき点は多く、次のようなことが考えられる。

(1) 窯表面からの放散熱を瓦生地乾燥に効率的に利用する。

(2) 排ガスの顕熱は極めて大きく、出熱全体の12.9~31%を占めるので、これの利用を考える。例えば熱交換で熱を回収し燃焼用空気の加熱に用いる。

(3) ガス分析による燃焼管理を行ない、必要以上の空気の流入をおさえて排ガス量を減らすように努める。そのためには、バーナーの改良等を考える。

(4) 単位容積当りの窯詰量を多くすれば、相対的に燃料使用量は減少する。(相関係数 $r = -0.75$)

従って窯詰量はできるだけ多くなるようにした方が燃料節約の面からは有利である。

参考文献

- 1) 三陶会報 第12号(昭和48年3月) P22~27
- 2) 深谷秀雄; 窯技No.13 1963年12月
- 3) 田中稔ほか; 窯業協会誌, Vol. 84.9 No.973, 1976, P450~452
- 4) 田中稔ほか; 窯業協会誌, Vol. 84.5 No.969, 1976, P220~225