

陶器瓦用トンネル窯と乾燥室の実態調査

榊原 満 永柳 辰一 伊藤 征幸 福永 均
浅井 邦雄 山本 紀一 森川 泰年

Investigation of Tunnel Kilns for Glazed Roof Tiles
and Dryer Chambers
by

Mitsuru SAKAKIBARA, Tatsuichi NAGAYANAGI, Tatsuyuki ITO,
Hitoshi FUKUNAGA, Kunio ASAI, Kiichi YAMAMOTO,
and Hirotohi MORIKAWA.

陶器瓦工場の省エネルギーの基礎資料を得るため年代別に11基の窯を選定し、窯及び乾燥室の実態を調査した。その結果、焼成枚数では重油1ℓ当り平均3.6枚、トンネル窯の熱効率率は平均42.9%であり、また乾燥面では乾燥室に供給される熱量は実際に乾燥に必要な熱量に比較して約3.3倍もあることが判明した。一方窯の生産能力を比較した場合、昭和40年以前の窯では日産10t台であるのに対して昭和51年以降の新しい窯では日産50～60t台の能力を持っており、年代の推移とともに生産能力が急速に向上していることが判った。

1. ま え が き

第2次オイルショックを契機として省エネルギーへの関心が一段と深まっている。陶器瓦製造業は典型的なエネルギー多消費型産業で燃料コストの製造原価に占める割合は非常に大きく、燃料の節減と熱の有効利用を図ることは重要な課題である。

陶器瓦用トンネル窯の熱的データについては前にも報告しているが、¹⁾乾燥工程まで含めた熱的データの報告は今回が初めてと思われる。

本報告では愛知県陶器瓦工業組合と共同でトンネル窯及び乾燥室の実態調査を実施し、特に窯の余熱を利用した乾燥室に適切な熱量が供給されているかを重点的に調べた。その結果にもとづき熱効率の向上、熱の有効利用等を図る方策について検討を加えた。

2. 調 査 方 法

愛知県陶器瓦工業組合から実態調査希望のアンケートをとり、応募のあった37基の窯の中から設置時期別に、昭和40年以前を2基、41～45年代を3基、46～50年代を3基、51年以後のものを3基合計11基を選定した。これらの窯を表1のトンネル窯の実態調査表にもとづいて計測し、その結果から窯の熱勘定及び乾燥の熱勘定を行った。なお、

調査時期は昭和55年12月から昭和56年1月の2ヵ月間であり、乾燥については最も条件の悪い時期である。

3. 調 査 結 果

3.1 窯に関する記録

表2にトンネル窯に関する記録を表わす。

3.1.1 積載方式

台車の積載方式をみると、古い窯では2行2段が多く、次いで3行2段となり、新しい窯になると4行2段に変わり、それがさらに1段のワイド型になっている。ワイド化に伴って台車の長さも長くなり、4行以上の積載方式ではすべて2.4m以上となっている。

3.1.2 生産量

1日当りの生産量を比べると、昭和40年以前の窯では10t台、41～45年代が10～20t台、46～50年代が20～30t台、51～55年代が30～60t台で年代の推移とともに生産量が増加している。特に51年以降の新しい窯では日産50t、60tという大きな能力を持ったものが出現しているのが目立つ。

日産60tは40年以前の窯の4～5基に相当する生産量であり、最近の窯の生産能力がいかに向上したかがよくわかる。

3.1.3 重油1ℓ当りの焼成枚数

重油 1 ℓ 当りの焼成枚数を比較すると、最低の 2.3枚から最高の 4.7枚まで約 2 倍の開きが認められる。平均すると 3.6枚となっている。古い窯は概して焼成枚数が少なく、新しい窯は多い。特に昭和51年以降の窯は 4 枚をこえているところが多く、生産能力だけでなく、生産効率もまたすぐれていることがわかる。

ここで注目すべきは D の窯である。設置時期が昭和43年と古いにもかかわらず焼成枚数は、焼成温度 1100℃ で 4.4枚に達し、51年以降の窯と比べても決して見劣りしない数字である。同様に E の

窯も焼成温度 1120℃、窯の長さ 60m ということを考えれば、1 ℓ 当り 4 枚というのは立派な数字といえよう。

なお、1 ℓ 当りの焼成枚数を算出するにあたっては、棧瓦に換算し 1 枚当りの重量を 2.8kg とし て計算した。従って棧瓦専門の窯は焼成枚数は多くなり、道具物専門あるいは道具物混載の窯では焼成枚数は少な目に出ている。古い窯の焼成枚数が少ないのは、道具物専門あるいは道具物混載で使われることが多いのも一つの理由といえる。

表 1 トンネル窯の実態調査表

窯に関する記録			
工場名			
所在地			
担当者		電話	
メーカー名			
大きさ(m)	たて × よこ × 長さ		
予熱帯表面積(m ²)			
焼成帯 " (m ²)			
冷却帯 " (m ²)			
台車の大きさ(m)	たて × よこ		
送車速度(分/台)			
窯内の台車数(台)			
積載方法			
バーナーの形式・容量および本数			
測定事項			
測定年月日及び時刻		昭和55年 月 日 午前 午後	
測定者名			
天気		外気温度	℃ 室温
焼成時間及び冷却時間			
燃料	燃性	種	類 C; H; N; S;
		水	分
		比	重
	燃状	組	成(%)
		高 発 熱 量(Kcal/kg)	
	低 発 熱 量(Kcal/kg)		
	使用	温度(℃)	
	使用	総量(kg/day又はkl/day)	
		焼成品 1 t 当り(kg又はℓ)	
	燃焼用空気	容量	一 次 空 気(m ³ N)
二 次 空 気(m ³ N)			
燃料 1 kg又は 1 ℓ 当り(m ³ N)			
温度		一 次 空 気(℃)	
		二 次 空 気(℃)	
		送風器の排出口(mmAg)	
圧力	予熱装置の入口(mmAg)		
	予熱装置の出口(mmAg)		
冷却用空気	容	量(m ³ N)	
	温	窯 へ の 入 口(℃)	
	度	窯 か ら の 出 口(℃)	
	圧	窯 へ の 入 口(mmAg)	
力	窯 か ら の 出 口(mmAg)		

未焼成品	質	量(t)	
	付 着	水 分(%)	
	結 晶	水 分(%)	
焼成品	窯の入口における温度(℃)		
	質	量(t)	
	焼成の最高温度(℃)		
棚板	窯の出口における温度(℃)		
	質	量(t)	
	温 窯 の 入 口(℃)		
台	度 窯 の 出 口(℃)		
	台	数(台/day)	
	1台の	耐 火 物 部(kg)	
車	質	量 鉄 部(kg)	
	窯の出	耐 火 物 部 ・ 入 口(℃)	
	入口に	耐 火 物 部 ・ 出 口(℃)	
燃焼排ガス	おける	鉄 部 ・ 入 口(℃)	
	温 度	鉄 部 ・ 出 口(℃)	
	容 総	容 量(m ³ N)	
乾燥関係	量 燃 料	1 kg 当 り(m ³ N)	
	温 予	熱 帯(℃)	
	度 主	煙 道(℃)	
乾燥室の長さ(m)	分 析	予 熱 帯 O ₂ 濃 度(%)	
	主 煙 道	O ₂ 濃 度(%)	
	乾 燥 室 の 長 さ(m)		
乾燥ライン数	熱	源	
	乾燥室内の台数(台/ライン)		
	乾 燥 日 数(日)		

生地	生	質	量(t)	
	乾 燥 室 入 口 温 度(℃)			
	質	量(t)		
白地	最 高 の 乾 燥 温 度(℃)			
	乾 燥 室 出 口 温 度(℃)			
	蒸 発 水 分 量(t)			
台	残 存 水 分 分(%)			
	1 台 の 質 量(t)			
	乾 燥 室 入 口 温 度(℃)			
車	最 高 の 乾 燥 温 度(℃)			
	乾 燥 室 出 口 温 度(℃)			
	1 日 当 り 台 車 台 数(台)			

表2 トンネル窯に関する記録

項目	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
築炉会社名	自社製	山養炭炉	高砂工業	自社製	東芝炉材	高砂工業	日本碍子	高砂工業	高砂工業	日本碍子	高砂工業
築炉の長さ (m)	37	40	43	43	44	48	48	50	54	54	55
窯積載の長さ (行段)	80.0	54.0	57.7	72.9	60.0	76.6	81.8	57.8	109	83.0	64.2
台車の速度 (分/台)	2-2	2-2	2-2	3-2	3-2	3-2	3-2	3-2	4-2	4-1	6-1
送車の長さ (m)	1.60	1.62	1.65	1.63	1.81	2.45	2.00	1.80	2.45	2.40	2.46
炉内の台車数 (台)	45	45	38	35	48	36	40	44	30	32	38
台車の耐火物の重さ (kg)	48	33	35	45	31	31	39	30	43	34	25
台車の鉄部の重さ (kg)	460	300	600	1,295	451	1,030	1,363	832	2,240	1,280	607
焼成量 (t/日)	350	300	300	400	228	300	322	190	417	450	604
燃料使用量 (kl/日)	13.0	10.6	13.2	29.7	22.2	36.0	32.0	22.8	61.0	36.0	46.4
焼成枚数 (枚/ℓ)	1.98	1.50	1.60	2.39	1.97	3.75	3.13	2.43	5.76	3.08	3.50
焼成温度 (℃)	2.3	2.5	2.9	4.4	4.0	3.4	3.7	3.4	3.8	4.2	4.7
焼成時間 (h)	1,110	1,050	1,075	1,100	1,120	1,085	1,080	1,070	1,090	1,110	1,125
焼成板の窯出し温度 (℃)	36.0	24.0	22.2	26.3	25.2	18.6	26.2	22.0	21.5	18.0	24.0
焼成板の窯出し温度 (℃)	0.89	1.07	0.88	0.69	0.60	0.59	0.67	1.07	0.69	0.59	0.61
焼成板の窯出し温度 (℃)	145	289	257	180	193	208	229	229	173	163	179
焼成板の窯出し温度 (℃)	170	263	273	199	165	228	214	217	220	172	182

表3 トンネル窯の熱勘定表

項目	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
(1) 燃料の燃焼熱	99.8	99.2	98.5	99.9	98.8	99.3	100.0	98.8	97.8	100.0	96.4
(2) 燃料の持ち込み熱	—	—	0.1	—	0.2	—	—	0.3	0.2	—	0.2
(3) 未焼成品の持ち込み熱	—	0.3	0.4	—	0.5	0.3	—	0.2	0.7	—	1.6
(4) 棚板の持ち込み熱	0.1	0.2	0.3	—	0.3	0.2	—	0.2	0.4	—	0.6
(5) 台車の持ち込み熱	0.1	0.3	0.7	0.1	0.2	0.2	—	0.5	0.9	—	1.2
(1) 焼成品の持ち去る熱	2.0	4.5	4.3	4.8	4.0	3.8	4.2	4.7	3.7	3.5	4.3
(2) 棚板の持ち去る熱	2.1	4.4	4.1	3.6	2.0	2.3	2.6	4.8	3.3	2.2	2.1
(3) 台車の持ち去る熱	3.3	5.6	7.8	7.3	2.2	5.6	6.1	5.4	9.7	7.4	3.3
(4) 燃焼排ガスの持ち去る熱	8.3	20.9	13.5	28.8	21.7	17.8	10.8	37.5	21.1	22.4	16.5
(5) 未焼成品の水分から蒸発する蒸気の持ち去る熱	3.7	6.4	4.3	9.8	6.7	5.6	3.9	5.7	5.9	7.3	7.5
(6) 放射の損失	44.9	48.0	43.1	29.0	39.6	21.4	19.4	16.1	19.0	14.9	12.3
(7) その他	35.7	10.5	22.9	16.7	23.8	23.9	52.9	29.9	37.2	42.3	54.0
計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1) 焼成品のみの場合の焼成品1t当たりの有効熱	29.3	31.5	33.9	56.7	46.2	39.6	37.1	40.6	44.2	51.4	55.3
a) 未焼成品の付着水分を蒸発するに要した熱	1.0	2.5	0.6	3.8	1.0	1.4	0.8	1.3	1.2	2.4	1.1
b) 未焼成品の結晶水分を蒸発するに要した熱	3.8	4.1	4.9	7.3	6.0	5.5	5.0	5.4	5.8	6.6	7.2
c) 粘土の分解に要した熱	7.9	8.4	9.5	14.9	12.7	10.8	10.4	11.2	12.4	13.8	15.2
d) 未焼成品の焼成に要した熱	16.6	16.5	18.9	30.7	26.5	21.9	21.2	22.7	25.0	28.6	31.8
2) 棚板の加熱に要した熱	14.5	17.6	16.9	17.5	15.8	12.9	14.2	24.3	17.3	16.8	15.6
1) 焼成品の熱効率	29.4	31.8	35.1	56.7	46.8	39.9	37.1	41.2	45.5	51.4	57.5
2) 棚板の熱効率	44.0	49.6	52.0	74.2	62.8	52.7	51.1	65.8	63.2	68.2	73.7

(単位 %)

3. 1. 4 棚板と焼成品の比率

棚板と焼成品の比率をみると最低の0.59から最高の1.07までかなりの開きがあり、平均では0.75となっている。棚板の比率が大きい窯は重油1ℓ当りの焼成枚数も少なくなっており、棚板を減らすことが焼成枚数を多くする一つのポイントになっていることがわかる。ただ、道具物を載せた場合はどうしても棚板の割合は大きくなる。A、B、C及びHの窯の棚板の比率が大きい原因の一つは道具物専門もしくは混載をしていることにもあり、比率が大きいからといって簡単に棚板を削減できるわけではないが、棚板の軽量化、少量化を常に心掛けたいものである。

3. 1. 5 窯出し温度

焼成品及び棚板の窯出し温度をみると、最低はAの144℃から最高はBの289℃まで144℃の差がある。特に60m未満の短い窯の場合すべて200℃以上となっている。窯の出熱を少なくするという事を考えれば、窯出し温度は低いほどよく、冷却帯での熱交換を積極的に行って窯出し温度をできるだけ下げることが望ましい。窯出しの平均温度は206℃となっており、この熱の再利用又は有効利用は非常に重要である。

3. 2 トンネル窯の熱勘定

J I S R 0301により11基のトンネル窯の熱勘定を行った。結果は表3のとおりである。以下各項目について述べる。

3. 2. 1 入 熱

入熱の項では燃料の燃焼熱が大部分を占め、最も小さいKの場合でも入熱全体の96.4%となっている。他は未焼成品、棚板、台車の持ち込む熱が少しある程度で、燃料の顕熱は無視できる程度に小さい。

3. 2. 2 出 熱

出熱の項の中ではその他の損失熱を別として放射伝導熱と排ガスの持ち去る熱の2つが最も大きい。放射伝導熱をみると古い窯ほど大きな割合を占めており40%以上になっているのに対して、新しい窯では10%台と大幅に減少しているのが目立つ。新しい窯では炉壁、天井の断熱化が進み窯が冷えているのに対し、古い窯は熱い。従って古い窯で省エネルギーを図ろうとする場合は予熱帯、焼成帯を断熱することが肝要である。ただ、断熱材を使用した場合、内部の煉瓦の温度が大幅に上昇するため溶けるようなこともあるので、煉瓦の

材質を十分に検討する必要がある。

次に排ガスの持ち去る熱をみると、8.3%から37.5%まで30%近い差が出ている。しかし排ガスの持ち去る熱の場合、測定孔の位置が工場によってまちまちなため、排ガスの分析や温度測定を同一の条件で行うことができず、この結果をそのままの数値として比較するにはかなりの無理がある。

例えばA、C、Fなどの場合、排ガスの持ち去る熱が比較的小さく出ているが、これは測定孔の位置が窯からかなり離れた煙突の中程にあるため排ガスが途中の排気ダクトを通過する間に保有する熱を放散してしまい、窯を出た直後に比べて大幅に温度が低下しているためである。また、排ガスの分析を行うに際し、焼成帯はともかくとして予熱帯になると測定孔がないためガス分析のできない窯が非常に多かった。燃焼排ガスの分析結果をみると、煙道における測定値がO₂パーセントで15~18%のところが多かった。一方焼成帯における測定値もO₂が10%をこえるところが多かった。

台車の窯出しにより窯から持ち去る熱量は7.4~16.7%であるが、大部分は10%台である。窯出し温度は前述のように平均206℃であるから、この利用が大切である。これを隙間だらけの窯場に引き出して上昇気流により炉上乾燥に利用するのはロスが大きくて適切とは言えない。一つの例として、台車にフードをかぶせて熱気流を吸引し乾燥に利用している工場があった。これなどは上手な利用の例といえよう。しかし一番良いのは冷却帯での熱交換を十分に行って熱を回収し、低い温度で台車を窯出しすることである。

出熱の最後の項目のその他の損失熱であるが、これは10.5~54.0%と極めて大きなばらつきをみせている。その他の損失熱として考えられるのはカー下の冷却用空気の持ち去る熱、排気ダクトからの放散熱、冷却帯の冷却用空気の持ち去る熱、地面を温める熱等がある。ここで注目すべきことは古い窯は放射伝導熱が大きくその他が小さい傾向にあるのに対して、新しい窯では放射伝導熱が10%台と非常に小さくなって代りにその他の損失熱が大きくなっていることである。これは新しい窯ほど断熱がよくなり、また熱回収が進んでいるため、本来放射伝導熱として放散されている熱が熱風などの形で利用されているためと考えられる。

例えばIの場合、冷却帯で熱交換により得た熱、風を利用して瓦生地の強制乾燥を行っているが、

表4 トンネル窯の熱勘定表

		(単位 10 ³ Kcal/t)										
項目	燃焼の持ち込み	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
		1,315.3	1,224.7	1,078.1	707.0	807.8	955.5	1,000.5	913.8	818.5	754.3	658.9
(1) 燃料の持ち込み	熱	—	—	1.3	—	1.4	—	—	2.4	—	—	1.4
(2) 燃料の持ち込み	熱	—	—	4.0	0.2	4.3	2.8	—	2.2	5.6	—	1.5
(3) 燃料の持ち込み	熱	—	—	3.3	—	2.4	1.6	—	2.1	3.2	—	10.7
(4) 燃料の持ち込み	熱	1.1	2.8	7.3	—	1.9	2.4	—	4.4	8.1	—	4.1
(5) 燃料の持ち込み	熱	1.4	3.6	—	0.4	—	—	—	—	—	—	8.6
(1) 焼成品の持ち込み	熱	25.8	55.8	47.2	33.6	32.6	36.2	42.2	43.8	30.6	26.6	29.2
(2) 焼成品の持ち込み	熱	27.1	53.9	44.4	25.6	16.1	22.6	26.2	44.3	27.7	16.6	14.6
(3) 焼成品の持ち込み	熱	44.5	68.8	84.9	51.7	18.4	53.9	60.8	49.7	81.2	55.3	21.9
(4) 焼成品の持ち込み	熱	108.2	258.2	147.6	203.7	177.2	170.8	108.2	346.5	177.0	169.6	112.9
(5) 焼成品の持ち込み	熱	48.8	79.1	46.4	69.1	55.0	54.2	39.4	52.5	49.1	55.4	51.0
(6) 焼成品の持ち込み	熱	591.5	593.9	472.2	205.1	323.6	206.3	194.4	148.7	158.8	112.6	84.3
(7) 焼成品の持ち込み	熱	474.9	1,255.4	252.0	118.8	194.9	418.1	529.3	228.3	312.0	318.2	369.8
計		1,317.8	1,235.1	1,094.7	707.6	817.8	962.3	1,000.5	924.9	836.4	754.3	683.7
1) 焼成品のみの場合の焼成量1t当たりの有効熱		386.6	389.3	368.9	399.5	378.3	381.7	371.6	376.5	371.8	387.6	—
a) 未焼成品の付着水分を蒸発するに要した熱	熱	13.3	31.0	6.4	26.8	7.9	13.8	8.3	12.1	10.2	17.9	7.7
b) 未焼成品の結晶水分を蒸発するに要した熱	熱	50.5	49.9	52.1	51.3	49.4	52.9	50.5	50.4	48.8	49.7	49.4
c) 粘土の分解に要した熱	熱	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0
d) 未焼成品の焼成に要した熱	熱	218.8	204.4	206.4	217.4	217.0	211.0	208.8	210.0	208.8	216.0	217.8
2) 焼成品の加熱に要した熱	熱	191.5	217.9	182.3	123.6	129.3	124.4	140.4	224.7	145.1	126.4	106.9
1) 焼成品の熱効率	率(%)	29.4	31.8	35.1	56.7	46.8	39.9	37.1	41.2	45.5	51.4	57.5
2) 焼成品の熱効率	率(%)	44.0	49.6	52.0	74.2	62.8	52.7	51.1	65.8	63.2	68.2	73.7

熱風として回収される熱は極めて大きく、出熱の20%余りに相当し、その他の損失熱の半分以上を占めている。

3.2.3 熱効率

焼成品の熱効率をみるとD、Eを除き、新しい窯ほど良くなっている。熱効率の平均は42.9%となっており、最低のAの29.4%と最高のKの57.5%の間には約2倍近い開きが認められる。これは当然そのまま燃料使用量に影響し、焼成品1t当りの燃料使用量で比較するとAの場合152.3ℓ、Kの場合75.4ℓと2倍以上の差が出ている。ここで比較的古い窯に属するDが56.7%という高い熱効率をあげているのが注目される。

なお、熱勘定表はパーセント単位の表示になっているため錯覚を起こしがちであるが、絶対値の比較ではないことに注意する必要がある。例えばその他の損失熱についていえば、Aが35.7%、Kが54.0%でKの方が大きそうであるが、実際の熱量で比較すればAの方が1.32倍ではるかに大きいのである。これについては、表4に熱勘定をカロリー単位で表しておいたので参照されたい。

3.3 乾燥室に関する記録

乾燥室の長さ、乾燥ライン数、乾燥日数、1日当りの乾燥生地量、乾燥温度、1日当りの供給熱量等を調べた。なお、炉上乾燥の場合は曜日によって乾燥室の温度・湿度、乾燥品の水分に著しく差異が生じるため、一応木曜日を基準にしてデータを採取した。結果を表5に表す。

3.3.1 乾燥室の概要

乾燥室の長さはほとんどの場合窯の長さにはほぼ等しくなっている。強制乾燥方式をとっているIの場合は乾燥室が長くなり、窯の長さの約1.6倍となっている。なお、A及びBは台車式炉上乾燥でなく古い棚掛け式の乾燥室である。

乾燥日数の平均は3.5日で、最小の1.7日から最大の6.4日まで大きくばらついている。

3.3.2 1日当りの乾燥量

1日当りの乾燥量を白地で比較すると平均で33tとなっている。最低のCの11.8tから最高のIの67.8tまで実に5.7倍の開きがでている。乾燥白地量と窯の焼成量が必ずしも一致せず、どちらかといえば窯の焼成量を上回る量の白地を乾燥しているところの方が多い。蒸発する水分量で比較すると平均で6.6tで、最低の2.6tから最高の48.6tまで7.2倍の開きがある。

表5 乾燥室に関する記録

項 目	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
乾燥室の長さ (m)	80	60	60	80	60	68	80	59	177	90	63
乾燥ライン数 (ライン)	—	—	3	4	3	3	4	3	1	6	7
乾燥室内の台車数 (台/ライン)	—	—	31	40	30	44	44	29	86	50	28
乾燥日数 (日)	5.0	2.5	6.4	3.5	3	2	2.9	3.5	1.7	4.0	3.7
乾燥する瓦生地量 (t/日)	16.8	24.5	14.4	57.6	25.9	24.6	41.7	23.9	86.4	62.7	57.2
乾燥した瓦白地量 (t/日)	13.6	21.8	11.8	48.0	21.6	20.4	34.9	20.8	67.8	51.4	51.0
蒸発した水分量 (t/日)	3.2	2.7	2.6	9.6	4.3	4.2	6.8	3.1	18.6	11.3	6.2
乾燥台車重量 (t/日)	—	—	5.6	57.6	9.4	15.0	14.8	3.3	45.6	19.0	23.5
室温 (℃)	16	10	21	22	20	21	18	20	20	24	18
入口の瓦生地温度 (℃)	16	9	20	19	25	21	24	23	31	23	23
入口の台車温度 (℃)	—	—	22	22	25	19	23	17	55	24	26
乾燥の最高温度 (℃)	31	45	38	37	55	64	44	34	76	42	63
出口の瓦白地温度 (℃)	—	—	32	29	42	47	36	33	74	34	52
出口の台車温度 (℃)	—	—	34	33	43	49	37	35	72	33	50
供給熱量 (10 ³ Kcal/日)	8,980	8,190	8,560	9,390	8,690	11,470	10,360	6,530	21,330	7,600	13,480

表6 乾燥室の熱勘定表

(単位 10³Kcal / t 白地)

項 目	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
窯からの放散熱	568.0	288.8	536.9	126.9	333.5	364.1	178.2	163.0	—	78.9	—
焼成品・棚板・台車の放散熱	93.5	86.8	196.9	68.6	69.2	198.9	118.4	151.0	—	69.0	—
熱風の持ち込む熱	—	—	—	?	—	—	—	—	314.6	—	264.3
計	661.5	375.6	733.8	195.5	402.7	563.0	296.6	314.0	314.6	147.9	264.3
白地の加熱に要する熱	3.0	7.2	3.4	3.6	6.0	8.6	2.2	2.2	9.0	3.8	8.0
生地の水分の蒸発に要する熱	138.2	75.3	128.4	118.8	119.6	123.4	115.0	87.6	164.2	130.9	73.3
乾燥台車の加熱に要する熱	141.2	82.5	132.7	124.6	127.2	135.9	118.3	90.1	174.9	135.5	82.0
計	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
供給熱量 / 有効熱量	4.7	4.6	5.5	1.6	3.2	4.1	2.5	3.5	1.8	1.1	3.2

3.3.3 乾燥の最高温度

乾燥室の温度が最高になる地点の温度をみると調査時期が冬場ということもあって、最低がAの31℃、最高はIの76℃となっている。しかしIは強制乾燥方式なので、炉上乾燥ということで比較するならFの64℃が最高ということになる。炉上乾燥のみの最高温度の平均では43℃とかなり低くなっている。

3.3.4 乾燥室への供給熱量

供給熱量は各熱源ごとに1日の熱量を算出してそれを合計したもので示した。熱源は窯からの放散熱と窯出しした焼成台車の放散熱が主体であるが、強制乾燥の場合は冷却帯から熱交換により回収した加熱空気を用いて加熱炉で更に温度を上げて熱風として打ち込んでいる。供給熱量の場合平均が $10,416 \times 10^3 \text{ Kcal}$ 、最低がHの $6,530 \times 10^3 \text{ Kcal}$ 、最高がIの $21,330 \times 10^3 \text{ Kcal}$ で、最低と最高の開きは3倍弱となって乾燥白地量ほどの開きは認められない。特にIだけが飛び抜けているが他はほとんど似通っている。

3.4 乾燥室の熱勘定

表6に乾燥室の熱勘定の結果を表わす。ここに表わしたのは乾燥室のほんの概略の熱勘定で、乾燥した白地1t当りの熱量で示した。熱源別では炉上乾燥の場合、窯からの放散熱の平均が $294.0 \times 10^3 \text{ Kcal}$ 、窯出しした焼成台車からの放散熱の平均が $116.9 \times 10^3 \text{ Kcal}$ となっている。窯からの放散熱と焼成台車からの放散熱の比をみると、平均では2.51となっているが、古い窯ではこの比が概して大きく、新しい窯では小さくなってほとんど1に近いようなものもある。最高はAの6.1から最低はHの1.1まで非常に大きな開きが認められる。

次に強制乾燥も含めた供給熱量をみると、白地1t当り $388.1 \times 10^3 \text{ Kcal}$ となっている。最低はJの $147.9 \times 10^3 \text{ Kcal}$ 、最高がCの $733.8 \times 10^3 \text{ Kcal}$ で5倍近い開きがある。ここで問題になるのは供給熱量が多いからといって必ずしも乾燥室の温度が高いとも限らないことである。例えば供給熱量が最低のJの乾燥の最高温度は42℃であるが、最高のCの場合は38℃で逆に低くさえなっている。同様にAの場合もJの4.5倍の熱量を供給しながらわずか31℃となっている。

有効熱量をみると最低はBの $82.5 \times 10^3 \text{ Kcal}$ から最高のAの $174.9 \times 10^3 \text{ Kcal}$ まで2.1倍の開きが

認められるが、これについては余り大きな差は無い。有効熱量とは白地の加熱に要する熱と生地の水分を蒸発させるのに要する熱、台車式の場合はそれに台車の加熱に要する熱を加えたもので、ほとんど大部分は水分の蒸発に要する熱である。

今回の実態調査の目的の一つは乾燥室に供給される熱量と実際に乾燥に利用された熱量（有効熱量）との比率を求めることであった。瓦工場の乾燥室に供給される熱量と有効熱量をまとめた数で調査した文献はなく、今回の調査で初めてその実態が判明したと言える。

供給熱量と有効熱量の割合（以下、供給熱量比という）をみると、平均で3.3、最低はJの1.1から最高はCの5.5まで5倍の開きがある。当然のことであるが供給熱量と密接な関係があり、供給熱量が多いほど供給熱量比も大きくなる傾向にある。しかし、乾燥室に入る時と出た時の水分に相異があるため相当変わるところもある。例えばAとBを比較した場合、供給熱量比はほとんど同じであるが供給熱量ではAがBの1.8倍となっている。台車式炉上乾燥の場合、供給熱量比が2以下になると白地の乾燥状態が相当悪くなる。供給熱量比が1.1のJ、1.6のDなどは乾燥室から出た時の白地の水分が3～4%になっており、これに施釉した場合は水分が1～2%増加するため、施釉後の水分は4～6%が予想される。これはそのまま窯入れするには極めて危険な数字である。Jの場合、施釉後台車積みしてサブドライヤーに入れ50℃に6時間保持した後窯入れしているが、それでも窯入れ直前の水分は2.9%となっている。Iも供給熱量比が1.8であるが、こちらは強制乾燥で、狭い乾燥室に入り、乾燥温度も76℃と高いことから、窯入れ直前の水分は1.6%とかなり低くなっている。したがってJもDも乾燥室（窯も含めて）のシールドを良くすればまだ白地の乾燥状態を良くできるはずである。勿論供給熱量比が4とか5のように大きいところでも窯場と乾燥室のシールドが悪く熱が他所へ逃げていたり、冷たい風の吹き込んでいるような場合は乾燥室の温度は上がらない。しかしシールドを施すことにより乾燥温度が上昇し、また乾燥室に供給している熱を大幅に削減できるはずである。削減は窯の放散熱について実施するものが最も適切であり、また施工も容易である。

4. ま と め

陶器瓦製造工場における省エネルギーを推進する場合、トンネル窯のみの省エネルギー化を図ってもそれと密接な関係を持つ乾燥工程を無視したのでは工程がスムーズに回らなくなる。今回の実態調査はトンネル窯だけでなく乾燥室も同時に行うことにより、両者の関係をふまえて省エネルギーの方策を立てることを目的として実施した。

- ① 焼成品 1 に対する棚板の比率は 0.6～0.7 が多いが、1 をこえ焼成品よりも多くなるケースもあった。熱勘定表からもわかるように棚板の加熱に要する熱量は全体の 15% 余りに相当しており、もし棚板を 20% 削減できたとすれば、焼料を 3% 節約できる計算になる。

棚板の少量化はむずかしいとしても、軽量化は可能であり、これを積極的に進める必要がある。

- ② 燃焼排ガスの分析結果をみると煙道における測定値は O_2 パーセント表示で 15～18% のところがほとんどであった。これは空気比に値すと 3.5～7 という大きな数値である。焼成帯で測定しても 10% をこえるところが多かった。空気比では 2 をこえることになり必要以上に余分な空気を炉内に入れていることがは

っきりした。また、これが煙道で 3.5～7 の空気比になるということは、予熱帯においてさらに大量の空気が入ったということである。

冷い空気が侵入すれば当然予熱帯の温度も低下し大きなエネルギーのロスになるし、排気のための動力も余分に要するということになる。これを防ぐにはカー下から空気が侵入しないように炉圧を調整するとともに窯の入口からの侵入空気をおさえるように構造的な改善を考える必要がある。

- ③ 乾燥と密接な関係を持つ窯の放射伝導熱は通常の台車式炉上乾燥では、実際に乾燥に必要な熱量に比較して大き過ぎることがわかった。窯出しした焼成台車の放散熱と併せて上昇気流として利用する方法は、現在のように隙間の多い構造の窯場、乾燥室の場合にはエネルギーの口入が多くて適切な方法とは言えない。今後は予熱帯、焼成帯の断熱を行って放散熱の削減を図るとともに、その分を冷却帯で熱交換により加熱空気の形で回収し、シールドされた乾燥室に打ち込む方式が望ましい。

参 考 文 献

- 1) 永柳辰一ほか：愛常窯技報告 6, 27～30