

タイル焼成用トンネル窯の実態

清水 覺 長谷川龍三 島村 修
永柳 辰一 山崎 達夫 星 幸二

Survey Results of Tunnel Kilns for
Ceramic Tiles installed in Tokoname Area
by

Satoru SHIMIZU, Ryuzo HASEGAWA, Osamu SHIMAMURA
Tatsuichi NAGAYANAGI, Tatsuo YAMAZAKI and Koji HOSHI

常滑、半田、武豊地区のタイル焼成用トンネル窯について、アンケート調査をした結果、第一次石油ショック以前に築炉された窯が多かった。また余熱の回収、炉壁の断熱施工は大部分の窯で実施され、台車、窯道具の軽量化が約半数の窯で見られるなど省エネルギー対策を行っているが、根本的な省エネルギーを進めるためには、窯の構造上の問題から制約を受けている。

次に、一部のタイル焼成用トンネル窯の熱勘定を行った結果、出熱のうち放射伝導熱が最も大きく、次いで燃焼排ガスの持ち去る熱が大きかった。焼成品の熱効率率は最大 52.8%、平均 28.8%であった。熱効率がさや、窯道具、台車等の重量によって大きく影響されていることが解った。現在の常滑地区タイル焼成用トンネル窯を改造して、更に熱効率を向上させるには、窯道具及び台車の軽量化を図ることが最も効果的な方法と考えられる。

1. ま え が き

昭和 48 年の石油ショック以来、燃料価格は急騰し、燃料多消費型産業であるタイル業界は省エネルギーを図るため種々の努力がなされてきた。しかし、常滑地区のタイル焼成トンネル窯について実態と熱の利用法ならびに熱勘定等について詳細な報告がほとんどなく、省エネルギー対策を進める場合にデータ不足が指摘されていた。従って、実態を把握することによって窯の改良と操炉技術改善のための参考資料として活用し、省エネルギーの促進を図るため調査研究を実施した。

本報告は、常滑地区のタイル焼成窯の実態を把握するためアンケートにより窯の仕様と省エネルギーに関する項目について調査するとともに、代表的な窯について熱勘定を実施し、省エネルギーを図る方法について検討した。

2. アンケート調査

2.1 調査方法

タイル焼成窯の実態把握のために、常滑、半田、武豊地区のタイル工場 25 社のトンネル窯 44 基を

対象にアンケート調査を実施した。調査表の回収は担当者の面接によって行い、回収率は 35 基、79.5%であった。調査表は表 1 に示すように、省エネルギーに関連したものを中心に項目を選定した。

2.2 窯の仕様に関する調査

調査したタイル焼成窯を製品別に分類すると、珐瑯質タイル 16 社 24 基、磁器質タイル 7 社 8 基、陶器質タイル 3 社 3 基に大別できる。一部の窯では盆栽鉢、陶管、さや等を混載しているものもあった。

2.2.1 被焼成品の窯内輸送方法

被焼成品の輸送方法は、表 2 に示すとおり台車方式が 32 基、スラブ方式が 3 基である。スラブ方式はマイクロキルンに採用されており、台車下への放熱量が少ないのと、台車が軽量であるため省エネルギー効果が大きい。

2.2.2 燃焼方式

燃焼方式は表 3 に示すとおり、サイド方式が 34 基で大部分を占め、残り 1 基はサンドイッチ方式であった。サンドイッチ方式の窯は、窯内上下の温度の均一化に重点を置き送車時間の短縮による

表1 タイル焼成窯の実態調査

企業名	調査年月日 昭和 年 月 日
工場所在地	調査員名
TEL () -	企業の担当者 職名 氏名
窯番号	
メーカー名	
種類・焼成方法	
設置時期	昭和 年 月 日
改造(予定)時期	昭和 年 月 日
更新予定時期	昭和 年 月 日
窯の寸法	長さ () m・予熱帯 () m 焼成帯 () m 冷却帯 () m
入口の断面	幅 () m・高さ () m
天井の形状	平天井・アーチ天井
台車	操車速度 () m/h or 送り速度 () min/台
窯内台車数	() 台
台車の大きさ	長さ () m・幅 () m
台車の出入口の扉	なし・扉・2重扉・エアーカーテン
メーカー名	()
種類	()
本数	() 本
制御方式	全自動式・手動式
焼成条件	最高焼成温度 ()℃
雰囲気	酸化・還元・特殊 ()
重量	窯出し製品重量 () kg/台車 or t/月
重量	窯道具・さや重量 () kg/台車
焼成品	種類 ()
比率	()
燃料	種類 ()
使用量	重油 ()・軽油・灯油・LPG・その他 ()
使用量	() kl/月 or kg/月

5. 台車の省エネルギー対策	A. No B. Yes	内容 (種類・メーカー等)	効果
6. 焼成管理	○ 炉圧 A. No B. Yes ○ ガス成分 A. No B. Yes ○ 温度 A. No B. Yes	内容	内容
7. その他の省エネルギー対策	A. No B. Yes	内容	
8. 今後の省エネルギー対策	A. No (もうやることは無い) B. Yes (まだある)	内容	
9. 担当者の記事			

省エネルギー対策

1. 燃料・燃焼用空気の予熱	○ 燃料の予熱 A. No B. Yes	サービスタンクの温度 ()℃ 配管の断熱 a. Yes b. No 効果
○ 燃焼用空気の予熱	A. No B. Yes	温度 ()℃ — どこから — a. アンダーカー 配管の断熱 a. Yes b. No 効果 b. 急冷帯 c. 側壁 d. その他 ()
2. 余熱の回収	A. No B. Yes	回収の方法・利用法 a. 焼成台車・焼成品の顕熱 () b. 炉壁放散熱 () c. アンダーカー冷却空気顕熱 () d. 急冷帯からの空気の顕熱 () e. 煙道排ガスの顕熱 () f. その他 () 効果
3. 炉壁等の断熱材施工	A. No B. Yes	種類・メーカー 施工長さ 施工厚み a. 予熱帯 ()・() m・() mm b. 焼成帯 ()・() m・() mm c. 冷却帯 ()・() m・() mm 効果
4. 窯道具・さやの省エネルギー対策	A. No B. Yes	メーカー・材質・形状等 効果

表2 焼成物の輸送方式 (窯数)

方式	炆器質	磁器質	陶器質	全体
台車	21	8	3	32
スラブ	3	0	0	3

省エネルギーを図った窯で、昭和54年に築炉されている。

表3 焼成方式 (窯数)

方式	炆器質	磁器質	陶器質	全体
サイド	23	8	3	34
サンドイッチ	1	0	0	1

2.2.3 設置時期

窯の設置時期は、図1に示す年代別分布のように、昭和45～49年の間に、設置された窯が9基で最も多く、次いで昭和50～54年が7基、昭和55年以降が6基になっている。昭和30年代に築炉された窯で健在のものも多く、陶管焼成用からタイル焼成用に転用されている。

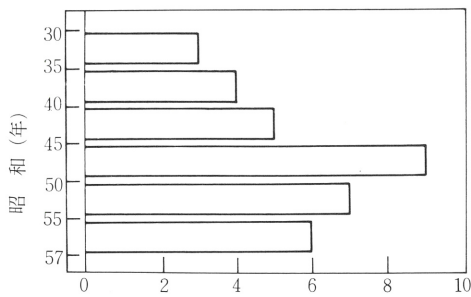


図1 窯の設置時期 (窯数)

2.2.4 窯の長さ

窯の長さは、図2～図4に示すとおり27～127mであり、35基の平均は56mであった。最近、タイル業界ではミニトンネル窯を採用する企業が増加し、窯の長さは短くなる傾向にある。トンネル窯の予熱帯、焼成帯、冷却帯の長さは、焼成品の

種類、焼成温度、生産速度等によって決められるのが一般的であるが、今回の調査結果からも炔器質タイル焼成窯で湿式成形の大型製品を焼成するために、予熱帯／焼成帯が3以上、冷却帯／焼成帯が4以上の大きい窯もあった。全体では、予熱帯／焼成帯及び冷却帯／焼成帯の平均的な比率は、炔器質タイル焼成窯で1.4、1.7、磁器質タイル焼成窯で1.3、1.5、陶器質タイル焼成窯で2.1、2.8であった。しかし、このうちの陶器質タイル焼成窯は陶管、さや製造のために築炉された窯を使ってタイルを焼成しており、もっとトンネル窯各部の長さは短くてよいと思われる。

調査結果から判断すると、大型製品焼成用等例外を除き、タイル焼成用トンネル窯は全長30m、予熱帯／焼成帯1.0～1.2、冷却帯／焼成帯1.2～1.3で充分であろう。

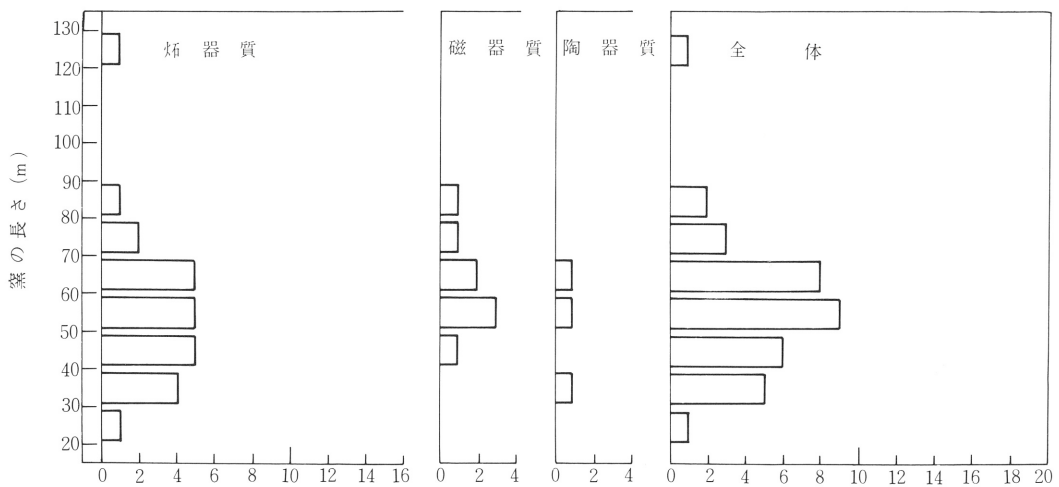


図2 製品別窯の長さ (窯数)

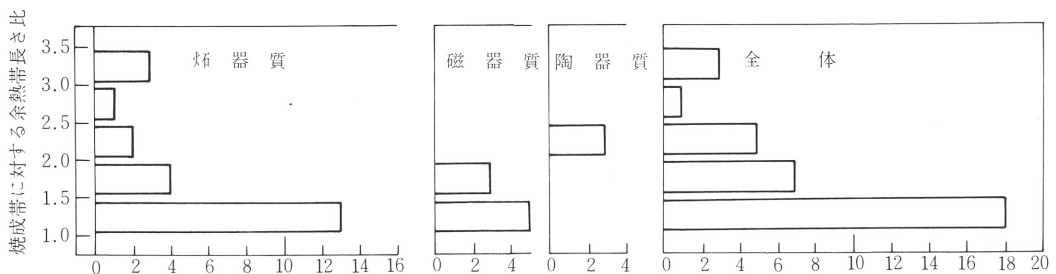


図3 製品別の焼成帯に対する予熱帯長さ比 (窯数)

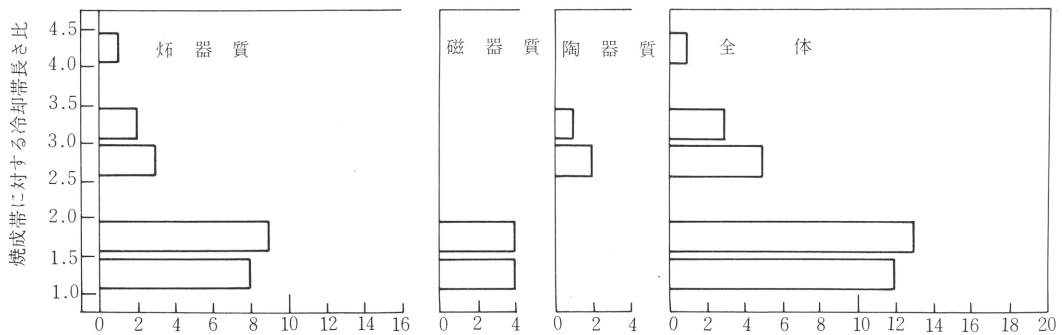


図4 製品別の焼成帯に対する冷却帯長さ比(窯数)

2.2.5 天井の形状

天井の形状は、アーチ天井が29基で最も多く、平天井とアーチ天井併用の窯が3基、平天井1基となっている。アーチ天井の窯以外の4基は、昭和54年以降に設置された省エネルギータイプの窯である。なお、アーチ天井の窯で、台車上の製品上部にじゃま板を設けて平天井の窯と同じような効果をあげているところもあった。

2.2.6 送車速度

送車速度は図5～図6に示すとおり、1時間当

たり台車の進む距離と1台車あたりに進む時間で表した。1時間当たり台車の進む距離は0.64～2.13m/hで、このうち1.10～1.39m/hの窯が最も多い。窯の平均長さが56mであるため、送車速度を1.2m/hとすれば、窯内滞留時間は約47時間となり、これが最も平均的な窯と言える。最も送車速度が早い2.13m/hの窯は長さが127mで最も長く、大型湿式成形品を焼成している。次に、1台車あたり進む時間は60～79分/台が最も多い。

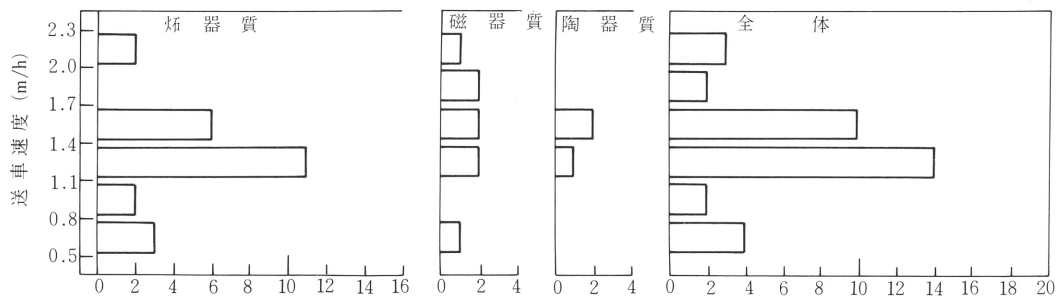


図5 製品別の1時間当りの送車速度(窯数)

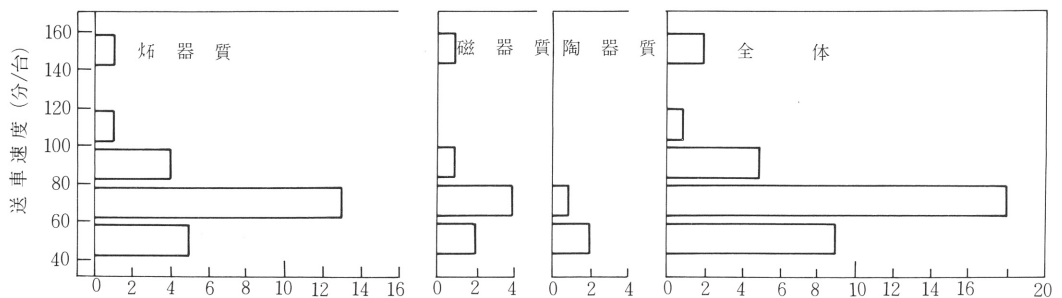


図6 製品別の1台車当り送車速度(窯数)

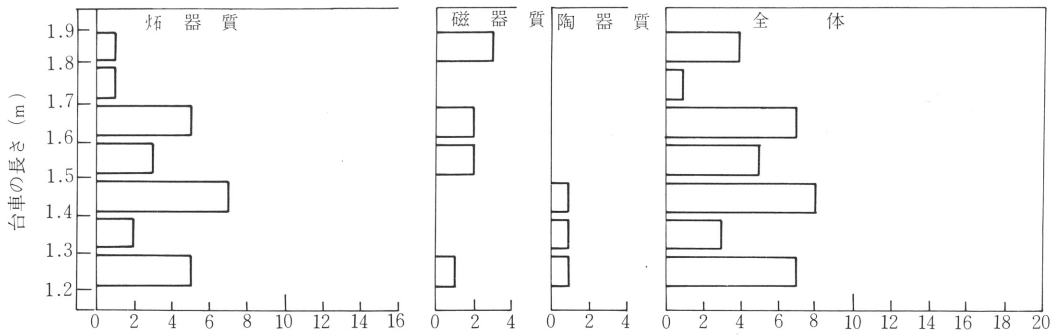


図7 製品別の長さ方向台車寸法 (窯数)

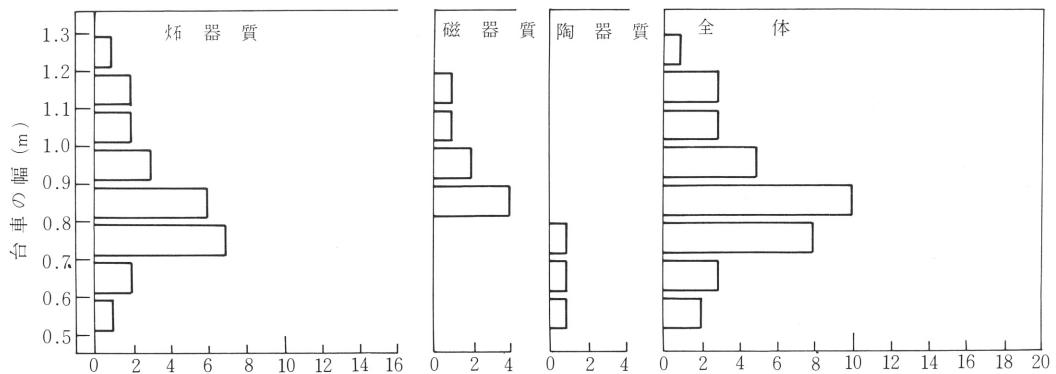


図8 製品別の幅方向の台車寸法 (窯数)

2.2.7 台車の大きさ

台車の大きさは、図7、図8に示すとおり、長さは、1.20～1.85 m、平均1.44 mで製品別では、煏器質タイル焼成窯が1.20～1.80 m、磁器質タイル焼成窯は1.20～1.85 m、陶器質タイル焼成窯は1.20～1.45 mの範囲の台車で、磁器質タイル焼成窯は長く、陶器質タイル焼成窯は短くなっている。

幅は、0.5～1.20 mの範囲に入り、平均0.82 mで、長さと同様に磁器質タイル焼成窯は幅が広く、二重扉の窯は狭くなっている。

2.2.8 入口ー出口の扉

入口と出口の扉の有無について調査した結果は、図9に示すとおり扉を入口と出口にそれぞれ1ヶ所づつ設けている窯が19基で最も多く、次いでエアーカーテンを設けている窯が5基、二重扉の窯が4基となっている。出入り口の扉は、その開閉によって炉圧が大きく変化し、窯内温度と雰囲気への影響が大きいいため、エアーカーテンあるいは二重扉等へ今後改良を検討する必要がある。

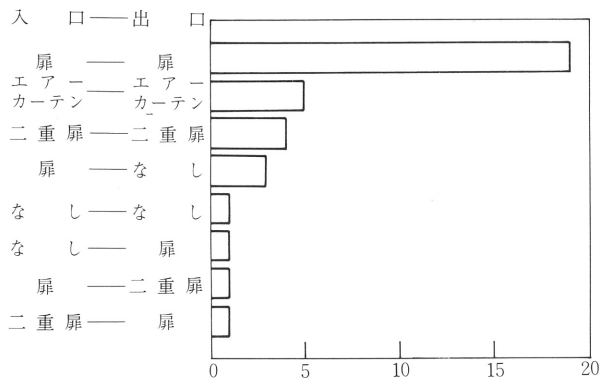


図9 入口ー出口扉の種類 (窯数)

2.2.9 最高焼成温度

最高焼成温度は図10に示すとおり、製品別最高温度の範囲と平均値は、煏器質タイル焼成窯で1100～1300℃、1170℃、磁器質タイル焼成窯で1180～1280℃、1174℃、陶器質タイル焼成窯で1065～1120℃、1095℃であった。当然のことながら、焼成温度の最も高い製品は磁器質タイル、次

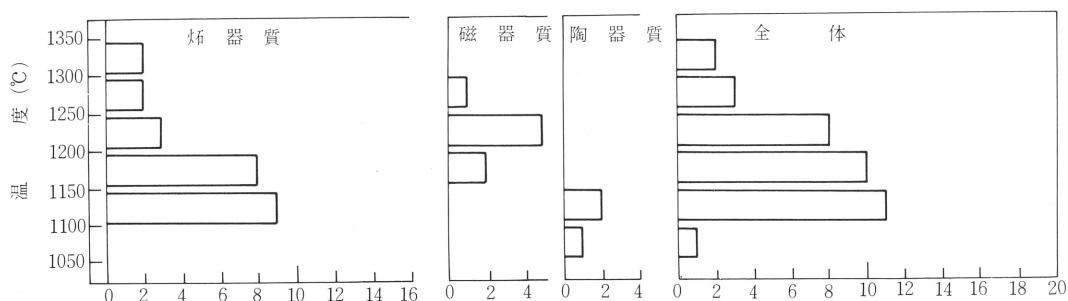


図10 製品別の最高焼成温度 (窯数)

いて炔器質タイル、最も低いものは陶器質タイルの順である。なお、一部の炔器質タイル焼成窯は、頻繁に焼成温度を変更しており、まとめられたデータは調査日におけるものである。

2.2.10 焼成雰囲気

焼成雰囲気は、酸化雰囲気 (O.F.) が 27基、酸化雰囲気 (O.F.) と還元雰囲気 (R.F.) 併用が 8基となっている。酸化と還元雰囲気併用のトンネル窯は一部の炔器質タイル焼成窯に限られており、特に還元雰囲気の場合は燃料の不完全燃焼が起るので、この損失熱により熱効率が低下する欠点がある。また、この併用窯は頻繁に雰囲気だけでなく、温度も大きく変更しており、あたかも単独窯のように焼成している。これは、需要ニーズの多様化による多品種少量生産傾向が強くなった現在において、従来からのトンネル窯を使用してタイルを焼成している企業の苦肉の策であり、設備の更新あるいは新設に際しては、適切な焼成方法の採用が望まれる。

2.2.11 窯出し製品重量

窯出し製品の重量については図 11 に示すとおり

り、1日当たりの窯出し製品重量及びその平均値は、炔器質タイル焼成窯が、5.8~24.0、13.7 t/day、磁器質タイル焼成窯が、5.4~21.5、13.2 t/day、陶器質タイル焼成窯が、10.7~24.8、16.9 t/day である。製品別窯出し重量は、磁器質タイル焼成窯、炔器質タイル焼成窯、陶器質タイル焼成窯の順に大きくなっている。これは1台車の単位面積当たりに積載する素地の重量が、陶器質タイル焼成窯は、窯道具が少ないのに比較して、磁器質タイル焼成窯は、さや等を多く使用しているため大きくなっているのも一つの原因となっている。

2.2.12 窯道具、さやと焼成品の比率

窯道具、さやと焼成品の比率は、炔器質タイル焼成窯が、11~42%、磁器質タイル焼成窯が、102~333%、陶器質タイル焼成窯が 10~20% である。これは磁器質タイル焼成窯が、さや等窯道具を多く使用しているのに対し、陶器質タイル焼成窯は、窯道具の使用比率が少ないためである。特に磁器質タイル焼成窯は、窯道具使用比率が大きく、その軽量化あるいは減量努力が必要である。

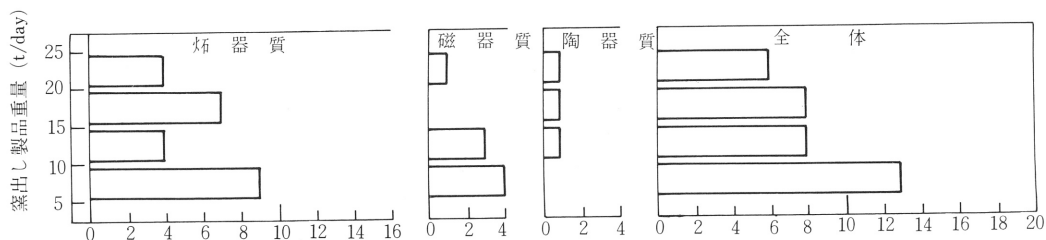


図11 製品別1日当たりの窯出し製品重量 (窯数)

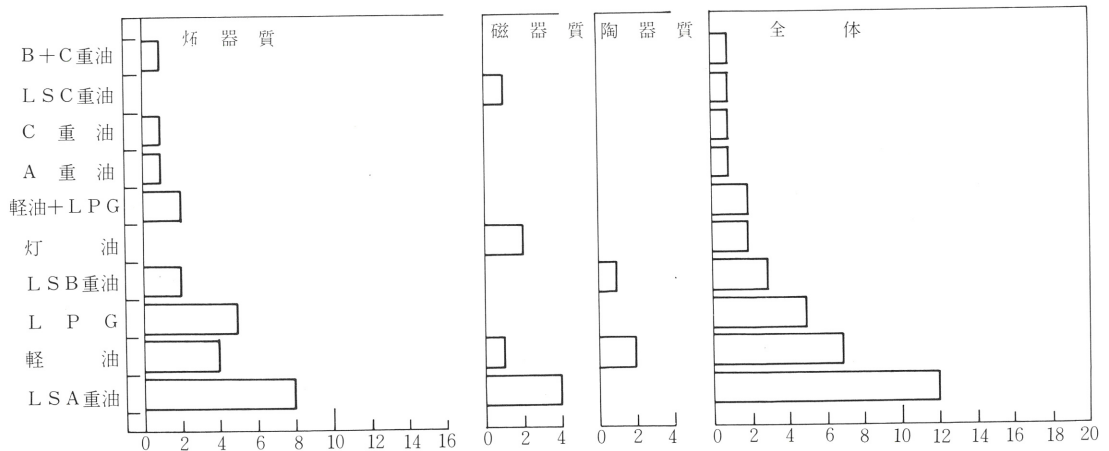


図12 製品別の燃料の種類 (窯数)

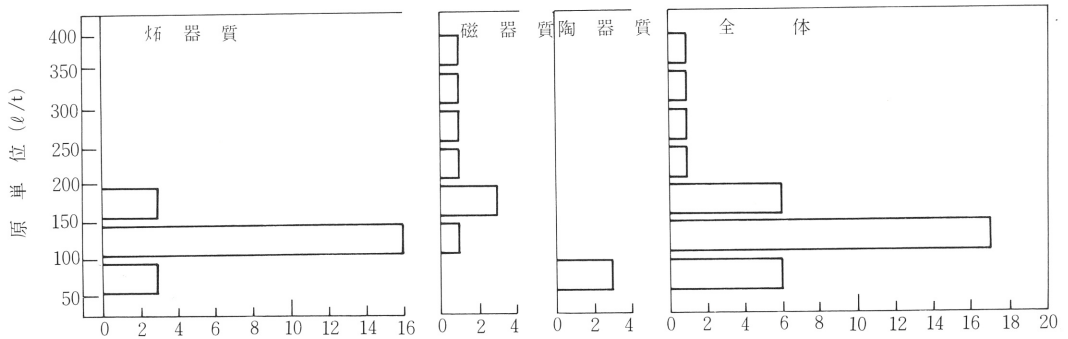


図13 製品別の燃料原単位 (窯数)

2.2.13 使用燃料の種類

燃料は重油、軽油、灯油及びLPGが使われており、図12に示すとおり、LSA重油が最も多く12基、軽油が7基、LPGが5基と続いている。特例として、軽油とLPG及びB重油とC重油の混焼が各1基あった。この調査時点では、LPG化を考えている企業があったが、その後のLPG需給の変動により、計画の再検討を迫られている。石油燃料の需給は今後なお不安定な状態が続くものと思われ、将来比較的に安定な確保が予想されているLNG等石油代替エネルギーの導入についての検討が必要であろう。

2.2.14 燃料原単位

燃料原単位は図13に示すとおり、各種燃料をA重油換算で燃料原単位とその平均値を表すと、炆器質タイル焼成窯は67~174 ℓ /t、120.5 ℓ /t、磁器質タイル焼成窯は126~387 ℓ /t、236.6 ℓ /t、陶器質タ

イル焼成窯は72~94 ℓ /t、81.0 ℓ /tである。全体の窯では、67~387 ℓ /t、145.1 ℓ /tであり、瓦、煉瓦等の焼成窯と比較して燃料原単位が大きい。特に磁器質タイル焼成窯はさやを多く使用しているため燃料原単位が大きく、逆に陶器質タイル焼成窯は、棚板等の窯道具が少なく焼成温度も低いので燃料原単位は小さい。

2.3 省エネルギー対策に関する調査

燃料の予熱、燃焼用空気の前熱等11項目について省エネルギー対策が行われている場合とない場合について調査した結果を表4に示す。さらに11項目のうち余熱の回収、断熱施工等については、その内容を詳しく検討した。

調査結果より、余熱の回収、断熱施工は大部分の窯で、燃料の予熱、窯道具、さやの省エネルギー対策及び台車の省エネルギー対策は約半数の窯で、燃焼用空気の前熱は、約1/4の窯で省エネ

表4 省エネルギー対策に関する調査項目

(窯数)

項 目		炆器質	磁器質	陶器質	全 体
燃料の予熱	{ Yes	12	2	1	15
	{ No	12	6	2	20
空気の前熱	{ Yes	4	5	0	9
	{ No	20	3	3	26
予熱の回収	{ Yes	24	8	3	35
	{ No	0	0	0	0
断 熱 施 工	{ Yes	19	6	2	27
	{ No	5	2	1	8
窯道具・さや の省エネ対策	{ Yes	8	3	0	11
	{ No	14	5	3	22
	{ 不明	2	0	0	2
台 車 の 省エネ対策	{ Yes	9	5	1	15
	{ No	12	2	2	16
	{ 不明	3	1	0	4
焼 成 管 理 (温 度)	{ Yes	24	8	3	35
	{ No	0	0	0	0
焼 成 管 理 (炉圧)	{ Yes	20	8	2	30
	{ No	3	0	1	4
	{ 不明	1	0	0	1
焼 成 管 理 (ガス成分)	{ Yes	9	3	0	12
	{ No	13	4	3	20
	{ 不明	2	1	0	3
そ の 他 の 省エネ対策	{ Yes	5	3	0	8
	{ No	16	3	3	22
	{ 不明	3	2	0	5
今 後 の 省エネ対策	{ Yes	17	5	2	24
	{ No	3	1	1	5
	{ 不明	4	2	0	6

ギー対策が行われていた。これより台車、窯道具等の断熱軽量化、あるいは燃焼、燃料等の予熱についてはなお改善の余地が残されている。

焼成管理状況は、調査した大部分の窯で、温度、炉圧について計測管理がなされているが、ガス成分の把握は、12基の窯で実施されていた。

温度計測は熱電対が多く、その他、ゼーゲルコーンや光高温計を併用している工場もあった。ガス成分は、アメロイドやオルザットガス分析装置により測定されており、測定間隔は6ヶ月に1回あるいは焼成品変更時が多い。炉圧は、傾斜管式炉圧計により1日2回から6ヶ月に1回程度測定されていた。

今後の省エネルギー対策は、ガスへの燃料転換、急冷帯の改造、焚口炉床の断熱化、混焼等なんらかの対策を考えている工場が多い。

2.3.1 余熱回収と利用方法

余熱の回収及び利用方法については、図14、図15に示すとおり急冷帯からの回収熱が最も多く、次いで炉壁放散熱、煙道排ガスの顕熱、焼成台車、焼成品の顕熱、アンダーカー冷却空気の顕熱であり、調査した全ての窯がなんらかの形で熱回収を行い、利用している。利用方法としては、成形品の乾燥が最も多く、続いてサブドライヤーへの打ち込み、原料の乾燥、予熱帯への打ち込み、燃焼用空気の前熱、燃料の前熱となっている。

2.3.2 断熱材の種類

調査したトンネル窯の省エネルギーのための断熱材については、図16に示すとおり、天井、炉壁の断熱材で最も多いのが、ロックウール、次いで断熱レンガ、グラスファイバー、セラミックウール、その他であった。最近では、セラミックファイ

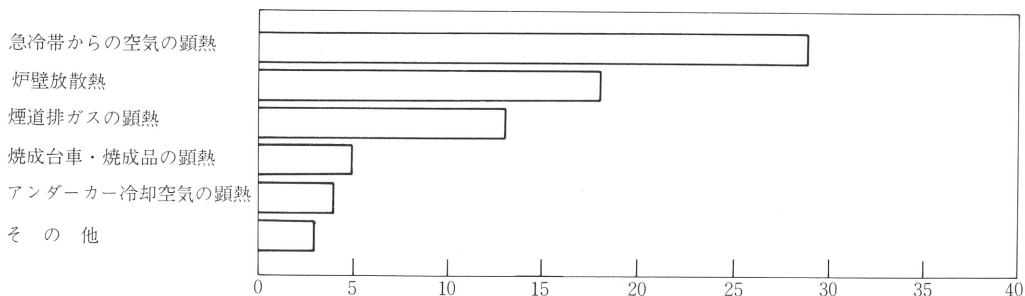


図14 余熱回収の種類 (窯数)

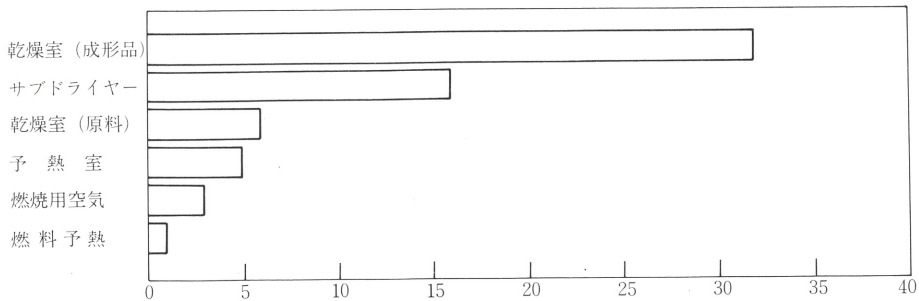


図15 回収余熱の利用法（窯数）

バーを使用する窯が多く、施工場所は外壁、台車、予熱帯の一部の内壁等を使用されている。

炉壁の表面温度を下げて、省エネルギーを図るために断熱材が多く用いられているが、一部ではバックステイや急冷帯に使っている窯もあり、使い方が適切でない例も見受けられた。

3. 実 測 調 査

3.1 測定方法

アンケート調査を実施したトンネル窯のうち、坩堝質タイル焼成窯8基（A～H）、磁器質タイル焼成窯2基（I、J）、及び陶器質タイル焼成窯1基（K）を選定し、温度等を実測してそれぞれのトンネル窯について熱勘定を行った。熱勘定はJIS R 0301「陶磁器、耐火物などの焼成用トンネル窯の熱勘定方式」にもとづいて測定した。その結果は、表5に示すとおりである。なお放射伝導熱は、室内温度基準に基づいて計算したが、炉壁周辺温度基準に基づいても検討した。

3.2 熱勘定

3.2.1 入 熱

入熱は燃料の燃焼熱が大部分を占め、他の入熱は極く僅かではあるが、未焼成品、さや、窯道具、台車の持ち込む熱も無視できない。未焼成品を積載した台車をサブドライヤーで充分加熱してから窯内に入車している事例もあり、未焼成品、さや、窯道具、台車の持ち込む熱が2.2%と比較的大きい窯もあった。

3.2.2 出 熱

出熱の割合が大きい項目は冷却用空気の持ち去る熱、燃焼排ガスの持ち去る熱、放射伝導熱及び不明損失熱である。冷却用空気の持ち去る熱は大部分の窯が、乾燥室やサブドライヤーへの打ち込

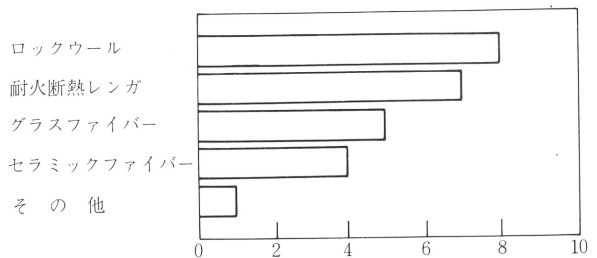


図16 断熱材の種類（窯数）

み利用をしており損失熱とは言い難い。

(1) 焼成品、さや及び道具の持ち去る熱

焼成品、さや及び道具の持ち去る熱は0.6～8.4%である。最も大きい8.4%の窯は、焼成品、窯道具の窯の出口における温度が200℃以上あるためである。この出熱を減少させ熱効率を向上させるには、窯出口より空気を打ち込み冷却帯で焼成品と熱交換を行い、窯出し温度を工場内温度近くまで低下する方法がある。このほか、この出熱の利用法として窯出し製品、台車からの顕熱を回収し、乾燥室、燃焼用空気、ウォータースモーキング等への転用が考えられる。

(2) 台車の持ち去る熱

台車の持ち去る熱は0.9～4.3%である。この出熱は台車窯出し温度の低下が必要であるが、150℃以上ある窯は6基ありこの内200℃以上の窯が1基あった。この出熱を減少させるには、前項(1)と同様の操作が必要であるが、台車の重量に比例して大きくなるので、台車の軽量化も有効である。

(3) 冷却用空気の持ち去る熱

冷却用空気の持ち去る熱は6.0～37.1%、平均25%である。この熱は大部分の窯で利用されているが、冷却により全体の熱効率が低下するので、

表5 熱 効 率 勘 定

項 目	A 社			B 社			C 社			D 社			E 社			F 社		
	×10 ³ kcal/t	%		×10 ³ kcal/t	%		×10 ³ kcal/t	%		×10 ³ kcal/t	%		×10 ³ kcal/t	%		×10 ³ kcal/t	%	
入 燃 料 の 燃 焼 熱	1202.14	97.71		1279.33	98.57		1912.50	99.26		1590.48	99.26		1006.81	99.63		1447.03	99.15	
入 燃 料 の 燃 焼 熱	0.64	0.05		1.60	0.12		1.35	0.07		2.65	0.17		0.70	0.07		0.64	0.04	
入 燃 料 の 燃 焼 熱	18.18	1.48		12.84	0.99		6.97	0.37		5.90	0.37		0.13	0.01		3.52	0.24	
入 燃 料 の 燃 焼 熱	9.32	0.76		4.18	0.32		5.96	0.31		3.37	0.21		2.94	0.29		8.25	0.57	
出 燃 料 の 燃 焼 熱	103.43	8.41		58.65	4.52		55.82	2.90		27.30	1.70		22.41	2.22		67.52	4.63	
出 燃 料 の 燃 焼 熱	33.52	2.72		33.53	2.58		39.75	2.06		30.42	1.90		43.91	4.34		56.25	3.85	
出 燃 料 の 燃 焼 熱	278.72	22.66		351.77	27.10		555.48	28.83		565.60	35.30		309.19	30.60		86.79	5.95	
出 燃 料 の 燃 焼 熱	288.21	23.43		199.67	15.38		264.80	13.74		190.99	11.92		303.02	30.38		299.73	20.54	
出 燃 料 の 燃 焼 熱	35.21	2.86		35.92	2.72		48.40	2.51		4.26	0.24		40.48	4.01		58.92	4.04	
出 燃 料 の 燃 焼 熱	139.72	11.36		138.92	10.70		354.89	18.42		325.29	20.30		86.46	8.56		219.57	15.04	
出 燃 料 の 燃 焼 熱	351.46	28.56		479.89	37.00		607.66	31.53		420.54	26.24		201.12	19.89		349.64	23.97	
計	1230.28	100.00		1297.94	100.00		1926.78	100.00		1602.40	100.00		1010.59	100.00		1459.43	100.00	
有 効 燃 料 の 燃 焼 熱	387.31	32.22		392.28	30.66		412.17	21.55		371.15	23.34		382.21	37.96		471.44	32.58	
有 効 燃 料 の 燃 焼 熱	2.93	0.24		1.41	0.11		5.17	0.27		5.03	0.32		6.88	0.68		11.75	0.81	
有 効 燃 料 の 燃 焼 熱	39.41	3.28		43.34	3.39		56.06	2.93		46.91	2.95		47.08	4.68		62.83	4.34	
有 効 燃 料 の 燃 焼 熱	120.36	10.01		120.59	9.43		39.48	7.29		110.55	6.95		110.66	10.99		181.11	12.52	
有 効 燃 料 の 燃 焼 熱	224.60	18.68		226.94	17.74		211.46	11.06		208.66	13.12		217.60	21.61		215.74	14.91	
有 効 燃 料 の 燃 焼 熱	688.27	57.25		632.75	49.46		478.40	25.01		394.89	24.83		550.07	54.63		596.87	41.25	
有 効 燃 料 の 燃 焼 熱	264.61	21.52		279.14	21.51		662.57	34.39		498.94	31.14		200.85	19.87		415.75	28.49	
有 効 燃 料 の 燃 焼 熱	32.98	31.10		31.10	21.71		21.71	23.51		23.51	38.10		38.10	54.83		32.86	41.60	
有 効 燃 料 の 燃 焼 熱	58.59	50.18		50.18	25.20		25.20	25.02		25.02	54.83		54.83					
入 燃 料 の 燃 焼 熱	1313.70	98.63		2102.29	99.36		2135.42	99.41		2760.72	98.46		839.27	98.27				
入 燃 料 の 燃 焼 熱	2.91	0.22		0.46	0.02		1.31	0.06		0.73	0.03		1.07	0.13				
入 燃 料 の 燃 焼 熱	8.35	0.63		8.37	0.40		7.14	0.33		26.82	0.96		9.16	1.07				
入 燃 料 の 燃 焼 熱	7.01	0.53		4.77	0.23		4.19	0.20		15.53	0.55		4.57	0.53				
出 燃 料 の 燃 焼 熱	58.72	4.41		55.56	2.63		13.62	0.63		131.13	4.68		12.51	1.46				
出 燃 料 の 燃 焼 熱	43.41	3.26		28.35	1.34		20.07	0.93		75.80	2.70		7.91	0.93				
出 燃 料 の 燃 焼 熱	470.42	35.32		32.01	425.35		1940.45	37.14		85.31	9.99		85.31	9.99				
出 燃 料 の 燃 焼 熱	397.35	29.83		572.07	27.04		579.94	27.00		879.83	31.38		100.85	11.81				
出 燃 料 の 燃 焼 熱	52.25	3.92		37.56	1.78		38.88	1.81		51.23	1.83		74.27	8.70				
出 燃 料 の 燃 焼 熱	204.28	15.34		331.55	15.67		545.84	25.41		109.46	3.96		197.58	23.13				
出 燃 料 の 燃 焼 熱	105.54	7.92		413.58	19.54		524.36	24.41		480.83	17.15		375.64	43.99				
計	1331.97	100.00		2115.89	100.00		2148.06	100.00		2803.7	100.00		854.07	100.00				
有 効 燃 料 の 燃 焼 熱	429.01	32.66		418.00	19.88		399.24	18.70		399.20	14.46		443.30	52.82				
有 効 燃 料 の 燃 焼 熱	8.31	0.63		2.64	0.13		7.91	0.37		19.43	0.70		3.35	0.40				
有 効 燃 料 の 燃 焼 熱	53.97	4.11		43.79	2.08		36.64	1.72		34.94	1.27		89.64	10.68				
有 効 燃 料 の 燃 焼 熱	145.38	11.07		139.97	6.66		123.44	5.78		97.37	3.53		149.72	17.84				
有 効 燃 料 の 燃 焼 熱	221.34	16.85		231.60	11.02		231.26	10.83		247.46	8.96		200.60	23.90				
有 効 燃 料 の 燃 焼 熱	493.16	37.54		541.48	25.76		865.68	40.54		119.08	4.04		498.33	59.38				
有 効 燃 料 の 燃 焼 熱	350.40	26.31		519.94	24.57		956.59	44.53		141.53	5.12		255.56	29.92				
有 効 燃 料 の 燃 焼 熱	33.11	20.00		20.00	18.81		18.81	14.69		14.69	53.75		53.75					
有 効 燃 料 の 燃 焼 熱	38.06	25.93		25.93	40.78		40.78	41.17		41.17	60.43		60.43					

温められた空気が窯外に出ない工夫が必要で、例えば出口に近い付近では出口から空気を押し込む方法が有効である。なおFの出熱6.0%の窯は冷却用空気の打ち込みタイプではなく窯内ガスを急冷帯から緩やかに吸引する方法をとっている。

(4) 燃焼排ガスの持ち去る熱

燃焼排ガスの持ち去る熱は11.8～31.4%である。排ガス温度は72～240℃で窯によって大きな差がある。これは工場のレイアウト等によって測定孔の位置が異なり条件が違うこともあるが、亜硫酸ガスによるダクトの腐食を防ぐため排ガス温度を高くしている工場もあった。この出熱を小さくするには排ガス温度の低下と排ガスを減少させるとともに、熱交換器の採用が必要である。

(5) 放射伝導熱

放射伝導熱は周辺温度基準で4.0～25.4%、室温基準で5.1～44.5%である。JISによれば室温基準で算出することになっているが、工場の環境によって基準温度の決め方が問題になる。窯周辺の空気が停止している場合は周辺温度基準が、空気が流動している場合は室温基準が適していると思われる。

この熱は炉上乾燥に利用されている例が多いが、窯の熱効率を向上させるには、炉壁の保温がよい。しかし既設の窯については、炉壁等の保温をする場合には炉材の温度が高温になって窯が損傷することがあるので注意が必要である。

放射伝導熱が小さい窯の平均表面温度は54.0℃、損失熱は4.0%であった。また、表面温度は3基が焼成帯天井で200℃を超えており、損失熱も25%を超えている。表面温度を低下させることによって放射伝導熱が減少するが、窯周辺の空気の流動を最小限にすることによっても約50%の放射伝導熱を減らすことができる。

(6) 熱効率

焼成品の熱効率は14.7～53.8%、さや及び道具を含んだ熱効率は25.0～60.4%である。表6の窯(J社)のようにさや、道具の多い窯は、さや及び道具を含んだ熱効率が41.2%であるのに対し、焼成品の熱効率は14.7%と低い値になる。

4. ま と め

4.1 アンケート調査

- (1) 第一次石油ショック以前に築炉された古い窯が多く、省エネルギー対策を進める上で、改善工事に限度があり熱効率向上に制約を受ける。
- (2) 窯の長さを必要以上にとっている例が多い。工場敷地の有効利用、放散熱量の低減の観点からも短くした方が有効である。
- (3) トンネル窯の出入り口戸扉の開閉によって炉内圧、炉内温度等の変化が起る場合が多いが、その防止のために二重戸扉を採用したりエアーカーテンを施工しているところは少なかった。
- (4) 炆器質タイル焼成窯では、雰囲気、温度を頻繁に変更している窯の例があった。省エネルギーの観点からは、窯の製品別分業化が望ましい。
- (5) 磁器質タイル焼成窯では、窯道具の使用量が焼成品の約5～6倍にもなっているため、さや等の材質を十分検討して、軽量化を図る必要がある。

4.2 実測調査

- (1) 焼成品、さや及び道具の持ち去る熱が、8.4%、台車の持ち去る熱が、4.3%にもなったトンネル窯があるが、これは窯出し温度が高いためである。冷却帯や出口での熱交換によって温度を下げる必要がある。
- (2) 冷却用空気の持ち去る熱は、乾燥室等に有効に利用されているが、燃焼排ガスの持ち去る熱は、大部分捨てられており、有効利用するためには、低空気比燃焼、炉圧コントロール、熱交換器の採用等が必要である。
- (3) 放射伝導熱は、周辺温度基準で4.0～25.4%、室温基準で5.1～44.5%で、この出熱の低減には、窯周辺の空気の流動を最小限にするか、断熱材等により窯の表面温度を下げる必要がある。
- (4) 焼成品の熱効率は、陶器質タイル焼成窯が50%以上、磁器質タイル焼成窯が20%以下で、窯道具の多少により熱効率は大きく変化するため、軽量化、少量化が望ましい。台車の軽量化は焼成品の熱効率向上に効果が大きい。