

種々の特許が出て試験が重ねられましたが結局は1899年のFaugeron、1910年のDressler、この両方式が成功し欧米の業界でトンネル窯に対する期待が高まります。その頃大倉和親がこれをいち早く察知し、1920年に東洋陶器に国内初のトンネル窯を導入します。

Faugeron とDresslerという方の二つの方式を源流とした近代トンネル窯は、第一次世界大戦で英国に代わる債権国となり産業が活性化したアメリカで大量生産時代の新兵器として威力を発揮します。全米のトンネル窯の基数は1915年に3基でしたが、1925年には35基、2年後1927年には200基と急増します。連続量産型トンネル窯導入の効果は極めて大きく、生産方式をManufacturingからMass Productionに変化させました。

1946年迄(戦前)のトンネル窯導入				
年度	森村三社	食器	耐火物	タイルほか
1920	東洋陶器(日本初導入)			
～1922				
～1924	東洋陶器			
～1926	東洋陶器			
～1928	日本碍子			
～1930				
～1932	東洋陶器2基(食器)			
～1934	日本陶器2基 日本碍子(点火栓)		日本製鉄	月星建陶社2基・不二見焼 伊奈製陶
～1936	日本碍子	曾根磁器園	九州耐火煉瓦	月星建陶社3基 上山化研煉瓦2基
～1938	日本陶器4基 東洋陶器・日本碍子	名古屋製陶3基	日本製鉄2基 品川白煉瓦3基	伊奈製陶・月星建陶社 佐治タイル2基・淡陶
～1940	日本陶器	曾根磁器園	品川白煉瓦2基	
～1942				
～1944		瀬戸陶磁器組合		
～1946			東芝セラミックス3基	
時期不明			大阪窯業2基	大阪陶業(碍子)

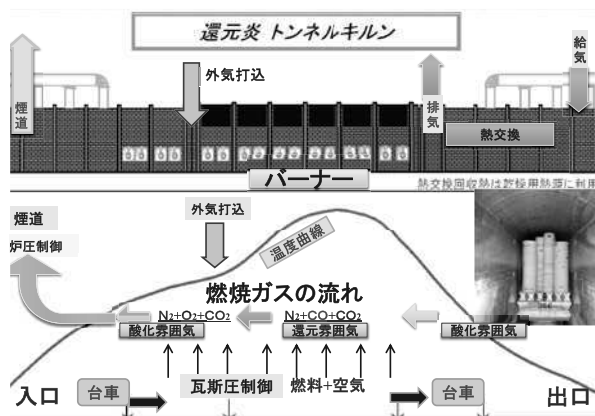
(出典：柿田富造 日本のタイル工業史、リタケ100年史、東陶磁器七十年史)

この表は戦前の日本におけるトンネル窯の導入です。1920年に東洋陶器が初めて導入して以来、最初の10数基は森村系三社によるものです。1934年以降になって日本製鉄など耐火物やタイル関係にトンネル窯が入り始めます。

初期のトンネル窯導入



森村三社への初期のトンネル窯の導入の経緯を見ると、日本陶器が輸出用の白磁の食器を作ることを目的に1904年に設立され1915年までにドイツ式の円筒式石炭窯を13基導入します。この頃日本陶器では念願の輸出用のディナープレートが完成して輸出が伸びたので本当はトンネル窯を導入したかった訳ですがこの時点では技術的な確信が無くて踏み切れず、僅か二年の間に15基の石炭窯を増設して合計28基にしています。日本で最初のトンネル窯は絵付け窯で日本陶器が1913年に導入していますが還元焼成の本格的な窯は技術的な判断から導入出来ませんでした。一方で日本陶器では初期から衛生陶器や碍子を研究して夫々東洋陶器、日本碍子を設立します。大倉和親は欧米でのトンネル窯の成功例を見て確信し1920年に東洋陶器にDressler トンネル窯を導入します。1928年には日本碍子にHarrop式トンネル窯が導入され、白磁還元焼成の困難から最後に残った日本陶器には視察、精査を重ねた上1933年にKerabedarf 式トンネル窯が導入されます。



三社(1号トンネル窯)の比較

	東洋陶器	日本碍子	日本陶器
トンネル窯	英Dressler	米Harrop	独Kerabedarf
製品	衛生陶器	碍子	白色磁器食器
導入年	1920	1928	1934
設計・監督	設計・監督 英人ラシュトン	設計・監督 米人ペリー	図面購入 無し
築窯操炉指導 全長(1号基)	107.5m	120m	78.7m
バーナー数(同)	4	14	20
燃料	発生炉ガス	重油	発生炉ガス
加熱方法	間接加熱	直接加熱	直接加熱
雰囲気	酸化炎	還元炎	還元炎
軸の有無	無し	無し	軸焼
導入数	3基	3基 + 軸用1基	4基 + 素焼3基

戦後のトンネル窯の開発と普及

- 戦前の大型トンネル窯導入成功が技術基盤
- 戦後、燃料事情悪く、薪、亜炭、石炭の配給で登り窯、石炭窯を使用大多数を占める中規模陶磁器製造業者にとって大型トンネル窯は能力過大、巨大資金を要し、導入不可能
- S23 駄知陶磁器工業協同組合が小型トンネル窯を試作
産業復興公団の支援で東濃陶器内にタイル用30mトンネル窯新設
(設計 湯川和歌丸、鈴木喜義が参加、日本碍子が技術支援)
- S25 常滑の船井製陶所 モザイクタイル量産用に25mトンネル窯新設
- S28 鈴木喜義が高砂工業設立し、トンネル窯の製造を開始
- 高砂工業は東濃地域に集積していた中小規模タイル・食器メーカーにトンネル窯を製造し、火入れ後、製品焼成が成功するまで責任を持つ姿勢によりトンネル窯がこの地域から全国に普及、事例と経験から技術力を蓄積し、2000年迄に2217基(国内1762基、海外455基)を製造、世界一のトンネル窯メーカーとなる

戦後のトンネル窯の普及に関しては、戦前に導入された大型トンネル窯が技術基盤となった事は間違いありませんが、終戦直後は燃料事情が悪く、薪、亜炭、石炭は配給でまだ多数の登り窯が稼働していました。戦前に普及した大型トンネル窯は能力過大で巨大資金を要し中小企業が多い窯業界ではトンネル窯が優れている事が解っていても導入出来ない状況下、昭和23年に駄知の工業組合が小型トンネル窯を試作します。産業復興公団の支援で東濃陶器の中に、タイル用の30mのトンネル窯を造ります。設計者は湯川和歌丸で、後に高砂工業の社長になる鈴木喜義が参加しトンネル窯の技術を持つ日本碍子が技術支援をしました。従ってHarrop式と言われるトンネル窯が基本になりました。常滑の船井製陶所もモザイクタイル用に25mの小型トンネル窯を造っています。小型トンネル窯に期待をする業界に対し鈴木喜義が高砂工業を設立してトンネル窯の製造を開始します。高砂工業は東濃地域に集積していた中小規模タイル・食器メーカーに、トンネル窯の築造後火入れから製品焼成の成功まで責任を持つ姿勢を貫いてトンネル窯が地域から全国に普及します。経験で技術力を蓄積した高砂工業は2000年までに実に2217基という大量のトンネル窯を造りました。世界一のトンネル窯メーカーだと思います。

トンネル窯の構造も進化しています。燃焼ガスは高温で上昇しやすいので従来窯側に有った燃焼室を台車のカートップ部分を燃焼室として活用して燃焼ガスからの伝熱効率を高めたり、高温の燃焼ガスが窯の上部だけを流れないように天井アーチの空間に堰を設けて流れを遮断す

るような考案・工夫がされ、炉体や台車構造には断熱性能が良く軽量な断熱煉瓦が多用され、これらの有用な工夫の結果、エネルギー原単位の大幅な改善に成功しています。

ROLLER HEARTH KILN

ローラーハースキルンとは？

ROLLER = ローラー(セラミック)

HEARTH = 床、炉床

KILN = 炉、窯

「炉床部がローラーで構成された炉」

20世紀初頭に
イタリアで発明
主としてタイル用に
開発使用されて来た。
20C. 後半に日欧で
各種用途に発達。

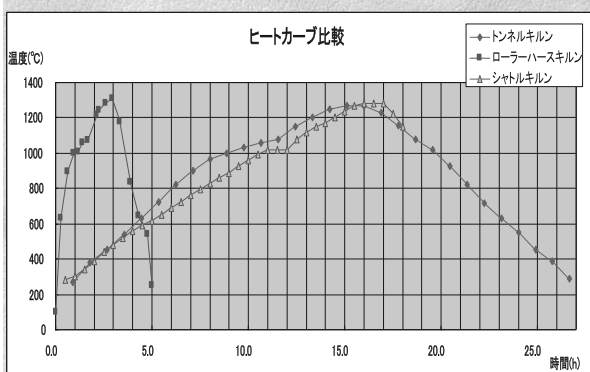


トンネル窯、ローラーハースキルン比較表

2012年7月1日作成

項目	トンネルキルン	ローラーハースキルン	シャトルキルン
外観画像			
炉内雰囲気	還元焼成	還元焼成	還元焼成
最高温度	1300℃	1300℃	1300℃
焼成時間	26時間	5時間	18時間
使用燃料	LPG	LPG	LPG
燃料使用量	65.7m ³ /h	18m ³ /h	92m ³ /回、15回/月
ガス代	5,910,700円/月	1,619,400円/月	170,100円/月
生産能力	310,000pcs/月	240,000pcs/月	9,000pcs/月
燃原単位	9100kcal/kg	6150kcal/kg	14300kcal/kg
焼成方法	台車式連続焼成	セッター連続焼成	台車式バッチ焼成
温度分布	上段 1305℃ 下段 1295℃ Δ10℃	上段 1299℃ 下段 1300℃ Δ1℃	上段 1300℃ 下段 1280℃ Δ10℃

ヒートパターン例の比較



トンネル窯に代わる新鋭炉として20世紀後半にローラーハースキルンが登場します。開発自体は20世紀初めですが、当初は主としてタイル用に使われてきました。20世紀後半に日本や欧州で各種用途に対する開発が進化します。

ローラーハースキルンはトンネル窯の欠点を



大幅に改善するばかりではなく、多種・少量・高品質に対応してQCD改革に繋がる窯として注目されました。そしてこの頃になって量産時代が曲がり角をむかえ、第二の産業分水嶺と言われる状況が始まります。

量産時代の終焉 (第二の産業分水嶺)

- 量産指向偏重への反省
 - 皆が同じものを欲する時代の終わり
 - 老若男女、文化、言語、障害、能力など
 - 個々の細かな嗜好に対応出来ない・・・
 - 多種・少量・高品質指向、Universal Design
- 多種少量高品質生産の重要性の再認識
 - 小規模専門化のニーズに対し
 - 1. トンネル窯から小規模なバッチ炉
 - 2. 焼成精度、性能、フレキシビリティで優るローラーハースキルンの採用が広がる

量産時代の終焉が意味するものは、産業革命以来技術は良い物をより多くの人に届ける為にマスプロダクション方式に到達しました。しかし、皆が同じ物を欲する時代は終わり、老若男女、文化、言語、障害、能力など、個々の細かな嗜好に対応出来ない為、これらを満たす為の多種・少量・高品質ニーズが高まりました。ユニバーサルデザインに対するニーズも有ります。窯業界が多種少量高品質生産の重要性を再認識し、小規模専門化のニーズに対応するための方法として、トンネル窯から小さなバッチ炉に変更する方法がありましたが、焼成精度、性能、フレキシビリティで優るローラーハースキルンを採用するメーカーも多数存在しました。

Roller Hearth Kiln

- 国内が量産時代から個別高効率生産へ移行
- ユニット構成、長さ=能力、ヒートパターンが自由設計
- 量産も可能、クラフト的な造り分けも可能
- 多品種、少量、高精度、高能率焼成
- フレキシビリティが陶磁器以外の分野にも認識され浸透



(出典: 清水窯炉 Web)

ローラーハースキルンはユニット構成で、5メートル前後のユニットを連結する為、長さもヒートパターンも自由設計です。量産も可能ですが、クラフト的な造り分けも可能です。多品種、少量、高精度、高能率焼成が認識されて陶磁器以外の分野にも浸透しています。例えば軽量のカップは本来短時間で焼成可能ですが重量の有る皿は焼成に時間がかかる場合、従来のトンネル窯では同一条件で焼かざるを得ません。ローラーハースキルンを中心としたフレキシブルなラインでは、製品ごとに窯を変え焼成条件を変更可能で、直結ラインなので在庫も減少します。

ローラーハースキルンの進化・開発

タイル焼成 食器焼成
打ち込み空気、炉内隔壁の工夫

高温焼成(ファインセラミックスなど)
超高温ローラーの開発

窒素雰囲気焼成(Mn-Znフェライトなど)
隔壁構造、給排気、ローラー駆動部の密閉構造化

粉体高精度焼成(電池金属粉、蛍光体)
一車 → 一粉 → 一腔

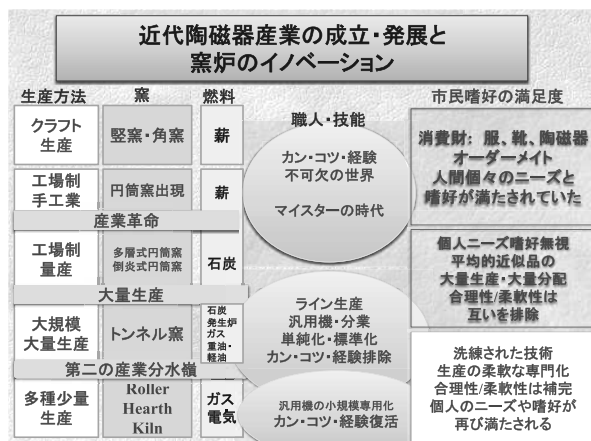
プラズマパネル焼付(プラズマTV)
タクト送り構造、クリーン化

小型/卓上ローラーハースキルン(多目的)
多種少量、変種変量フレキシブル生産対応
実験室と現場の整合性

Flexible Line 化
製品一個、粉一粒・・・目的別少量個別処理
小型化・卓上化・自己発熱・・・マイクロ波加熱

以上の様な種々の長所が認められ、タイル焼成、食器焼成のみならずファインセラミックス、Mn-Znフェライト、粉体、電池材料、蛍光体といった分野に用途が拡大しました。今後の窯はどのような方向に進むかという点では、更にフレキシブルなライン化が進む事になるでしょうし、焼成の単位についても製品一個単位、或いは粉一粒の性能を最大に発揮する目

的別少量個別処理が進行すると思います。小型化、卓上化の傾向も更に進行すると思います。



これまで窯という視点から時代を見てきました。竪窯の時代から角窯、円筒窯、多層式円筒窯、トンネル窯、そしてローラーハースキルンに進化しました。この間、生産方法もクラフト生産、工場生産から大量生産に移り、今は多種少量高品質生産のニーズが強くなっています。勿論この間燃料も変化しました。一方で職人の技能という視点で観てみると、勘・こつ・経験に秀でたマイスターの時代から、クラフトの要素を残した工場制となり、20世紀になってライン生産、汎用機の導入、分業、単純化、標準化が進み、勘・こつ・経験が無くても一定のものが出来る大量生産の時代に至りました。しかし最近ではローラーハースキルンや工作機械でも汎用機の小規模専門化が求められ、その流れの中で勘・こつ・経験が再び復活しつつあるように思います。市民嗜好の満足度と言う視点ではどうかといえ、マイスターの時代はやはり服とか靴とか陶磁器とか、全てオーダーメイドの時代で人間個々のニーズと嗜好が充分満足されていました。しかし大量生産の時代になると、職人のデリケートな技能による採寸や微妙な配合、そして個人の趣味の反映は全く問題外で個人のニーズや嗜好は完全に無視され、平均的な近似品の大量生産、大量分配です。色は三色から、サイズは5mm間隔、といった形で選ばざるを得ません。トンネル窯のような技術進歩が大量生産システムを支援し、柔軟なことは合理的ではないと言うのがつい最近までの時代でした。その結果全人口のある一部の人が全人口のための生

活必需品を作り更には贅沢品までも作ってしまう結果、企画化された大量の製品を買い手に押し付ける事になり、それは合理的で会社は儲かるわけです。しかし一方で、少人数の人が大量の物を作るので失業が発生します。いま、かつて先進国で開発された量産技術が時を経て工場と共に後進国に移り、先進国で失業が発生するという皮肉な結果になっているような気がします。最近、テレビで運動靴のニュースを観られた方も多いと思いますが、長さ、高さ、幅をミリ単位で、色、デザインを組み合わせると何億通りのものオーダーメイドが可能になります。私はこれを観て昔の職人の注文に対する時の様な個性の尊重時代に回帰してきたと感じました。昔の技術に戻るのではなくてローラーハースキルンのような洗練された技術、生産の柔軟な専門化によってコストをそれほど上げることなく、柔軟なことが合理的になり、個人の細かな嗜好やニーズが200年を経て再び満たされるようになってきた。規模は違いますが200年前には満たされていた個人的趣味やニーズは、量産を目指して走っていた200年間は一般には満たされませんでした。しかし最近になって、再び人間がその点に気づき始めて、最新の技術を駆使した柔軟な少量生産を低コストで実現し、個人個人の好みにきめ細かく対応する、我々市民にとってそのような幸せな時代が来つつあるかもしれないという期待を抱いております。

以上で私の講演を終わらせていただきます。ありがとうございました。

