

復元兼近 1 号窯の焼成実験

津坂和秀・加藤伸也・加藤重高・長坂克巳

An Experiment of Firing using Single Chamber Kiln called Anagama

Kazuhide TSUSAKA, Shinya KATO, Shigetaka KATO and Katsumi NAGASAKA

The Sanage kilns were the major provincial kilns which lay in Seto city in the north, Toyota in the east, Ohbu in the south and Nagoya in the west, and they produced Sue ware and wooden-ash glazed pottery using single chamber kilns called Anagama.

The Kanechika No. 1 kiln which was restored to the original state was one of the Sanage kilns, and it is 6 meters long, 1.5 meters wide and 1 meter high. It was built in a half-buried kiln with the top covered with earth.

The following is concerned with the experiment of firing using the kanechika No. 1 kiln restored.

Experimental results are summarized as follows :

- (1) The experiment of firing continued for about 60 hours. Consequently, maximum temperature was 1345°C, and then the difference with the minimum in the kiln was about 180°C.
- (2) According to the results of the gas analyzer the atmosphere in the kiln was very changeable at high temperature and besides was large in the difference owing to the places. But, through the firing it was possible to control the atmosphere in the kiln.
- (3) About 600 faggots of akamatsu (Japanese red pine) were used for the experiment of firing.
- (4) As akamatsu contains a low percentage of ash, wooden-ash glaze was thin.
- (5) Most of the potteries in the kiln could be sintered.

1 緒言

猿投山古窯址群は、本多静雄、加藤唐九郎等の要請を受けて、1955年頃より愛知県、名古屋大学、東京大学等の共同調査研究によって、文化財保護委員会の補助を得て発掘されたものである。橋崎等¹⁾²⁾によれば、この古窯址群は3世紀末の東山第9、10、11号窯などを出発点とし、古墳時代においては名古屋市千種区から昭和区の低丘陵地帯に、古墳時代末期から奈良、平安時代にかけては北は瀬戸市、東は豊田市、南は大府市に及ぶ20km四方の広大な地域にまたがっている大古窯址群であり、主に須恵器及び山茶碗を出土している。

今回復元された「兼近1号窯」は、上記古窯址群に含まれる豊田市高崎町の丘陵で発掘された半地上、半地下式のいわゆる審窯と呼ばれているものである。

審窯は鎌倉時代頃までは盛んに作られていたようであるが、この窯は、「焼成中地殻の水分を吸収して温度の上昇を妨げる³⁾」というような欠点もあり次等に廃れ、登り

窯のような地上式の窯が築かれるようになった。

焼成実験により古い時代の焼物を知ろうとする試みとしては新井司郎等の報告⁴⁾や瀬戸窯業高等学校専攻科生による報告⁵⁾等が挙げられる。前者は縄文土器の焼成実験を繰返し、当時の焼成方法、温度、原料等について興味深い推定を行っている。又、後者は土師器について焼成実験を行いその焼成方法や焼成状態等を報告している。しかし両者とも野焼きによる焼成実験であり、構造的にも今回の審窯とは全く異なっている。

審窯についての発掘報告書は数多く出ている。2、3例を挙げると、「焼成室床面はほぼ直線上で、分炎柱手前1m付近から略水平になる。床面は上部がやや焼けが足らず脆いが、中部より下位は硬く焼締っている⁶⁾。」「青灰色で良好な焼締りをみせている⁷⁾。」「極めて堅く焼締った前庭部床面が検出された⁷⁾。」「天井壁、側壁は非常に良く焼き締っており、下方はコバルト色のガラス質になっているほどである⁸⁾。」等いづれもその目的が発掘された古

窯を有りのまま表現することになり、発掘現場の状態を忠実に表わすだけに留めているものが多い。しかしその中で老洞古窯跡群の発掘調査報告書⁹⁾は、その科学的考察において年代推定のみならず、メスbauer一分光法及びESR分光法により発掘出土品の焼成温度の推定を行っている点で非常に興味深い。だがこの方法は焼成雰囲気によっては信頼性に乏しく、焼成方法が明らかになっていない発掘出土品等を誤差なく推定することは難しい。

従って「兼近1号窯」を用いた焼成実験により、以下のような項目を明らかにし、そしてそれに付随した事柄についても一つずつ解明するため、今回の測定を行った。

(1) 焼成方法と薪消費量

- 焼成方法の違いと薪消費量
- 焼成日数
- 焼成作業に必要な人数
- 必要薪量
- 焼料確保に必要な人数

(2) 窯内雰囲気と通風力

- 窯内の雰囲気
- 焼成方法の違いと雰囲気
- 窯床の傾斜角と通風力

(3) 窯内の温度分布

- 窯内の最高到達温度
- 温度分布と窯結めとの関連
- 焼成室前部、後部の焼成品の焼結度合

(4) 自然灰釉の付着量

- 製品への付着量と焼成日数及び燃料との関連
- 内壁への付着量と焼成回数との関連

(5) 歩留まり

- 当時の生産量
- 焼成品の支持道具(窯道具)

尚兼近1号窯の復元及び本焼成実験は、瀬戸陶芸研究会が主体として行ったもので、筆者等はその会員である。

2 実験方法

2.1 窯

焼成実験に用いられた窯は平安時代中期と推定されている豊田市高崎町で発掘された「兼近1号窯」において測定された各データをもとに、下記に示す2, 3の項目を除いて忠実に復元されたものである。

(1) 築造については、立地の関係から窯体の中心軸の方向、窯体のレベル等発掘された兼近1号窯とは多少異なる。

(2) 窯築資材については、発掘場所付近で採土すべきであるが、復元時において採土不可能であったため、瀬

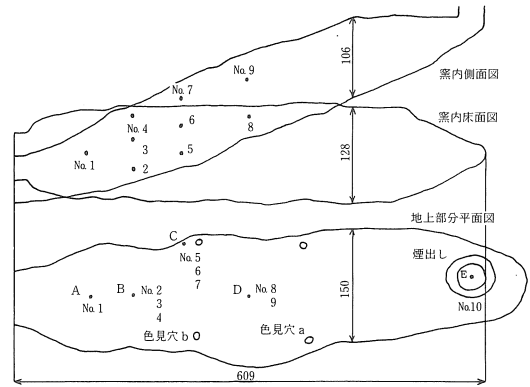


Fig. 2-1 復元兼近1号窯縮尺図 (cm)

戸市内の最も適当と考えられるものを使用した。

(3) 天井壁及び焼出し部分については、兼近1号窯の場合流失していたので、同時期に成立している「猿投窯」等を参考にした。

復元兼近1号窯の縮尺図をFig.2-1に示す。

尚復元は瀬戸市歴史民俗資料館長宮石宗弘を中心に行われた。

2.2 焼成方法

燃料はよく乾燥された赤松を使用し、焼成は以下に述べるように、大きく4つに分けて行った。

(1) あぶり

窯と製品に付着している水分を放出させるため200℃以内で約5時間加熱した。薪は約80cmに切った赤松の丸太を使用しゆっくりと昇温させた。また粘土鉱物は400~700℃にかけて結晶水を放出するものが多く、水蒸気による急膨脹が原因で製品が破壊することがあるので、注意して昇温した。薪は焼成開始5時間より、薪割りにより細くした赤松を使用した。

「あぶり」焼成では特に付着水、結晶水の放出温度に注意して供給する薪量を調節して窯内を昇温させた。

尚「あぶり」焼成は約25時間行った。

(2) せめ

粘土中の結晶水が、ほぼ放出されたと思われる窯内温度800℃くらいから、薪の供給量を急激に増加し、不完全燃焼状態を作り窯内を還元炎雰囲気になると同時に、窯内温度を急速に上昇させた。

「あぶり」終了後、焼成開始から約35時間までを、「せめ」の焼成時期とした。

(3) ねらし

「せめ」により窯内の温度は上昇するが、窯内の温度差が大きくなるため、窯内の温度をできるだけ均一にするため、Fig.2-2に示すように焚き口を次に供給する薪で塞ぎ、低温の一次空気の供給量を減少させるのと同時に、

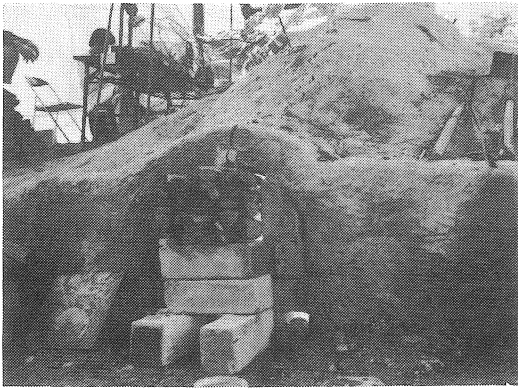


Fig. 2-2 焚き口 (ねらし焼成)

薪を発火寸前まで予熱する焼成方法を約20時間行った。その後焚き口、煙出し部分を操作し一次空気を大量に供給する焼成方法により、特に焼成室の後部の温度を上昇させ窯内温度の均一化を図った。

窯内の製品は、比較的ゆっくりとした固相反応により焼結が進められるため、むらなく焼成するには、窯内温度に均一にしながら昇温を図る「ねらし」焼成が必要である。

「ねらし」焼成は約25時間行った。

(4) 冷却

「ねらし」焼成終了後、燃焼室に薪を隙間なく投入した後、焚き口、色見穴、煙出し部分そしてその他空気の流通のおそれのある所は、すべて粘土やレンガで遮断し、非常に強い還元状態で自然冷却させた。

2.3 温度測定

2.3.1 温度測定装置

温度検出部には白金、白金ロジウム13%熱電対を用いアルミナ保護管により窯内雰囲気の影響を避けた。熱電対と計器との間は補償導線で接続しそれぞれターミナルを作製して熱電対にかかる荷重をできるだけ少なくし断線のないようにした。

温度計器には千野製作所製の打点式24点電子温度記録計を用い、24点中10点を使用してチャート紙に温度を記録した。(10点の周期：約45秒)

尚熱電対は真空理工社製溶接器を用いて所定の長さの熱電対を作製し使用した。

2.3.2 温度測定点

Fig.2-1に示すように燃焼室後部Aに1点(No.1)、焼成室前部Bに3点(No.2, 3, 4)、焼成室前部Cに3点(No.5, 6, 7)、焼成室中間部Dに2点(No.8, 9)、焼成室後部(煙出し部分)Eに1点(No.10)の合計10点の温度測定を行った。下記に測定目的と測定点を記す。

(1) 長さ方向の温度分布の解析

B, C, D, E点

(2) 高さ方向の温度分布の解析

B点 No.2 (下部), No.3 (中間部), No.4 (上部)

D点 No.8 (下部), No.9 (上部)

(3) 約45度斜め方向の温度分布の解析

C点 No.5 (下部), No.6 (中間部) No.7 (上部)

(4) 燃焼室の温度の解析

A点(No.1)

尚温度測定は焼成開始から焼成終了12時間後まで行った。

2.4 窯内ガス分析

2.4.1 ガス分析装置

測定部

柳本製作所株式会社製

ガスクロマトグラフ Model G 1800T型

(熱伝導型検出器付)

記録部

横河電機株式会社製

自動記録計3046

2.4.2 測定条件

キャリアーガス……He

キャリアーガス流速

N₂, O₂, CO分析用 60ml/min

CH₄, H₂, CO₂分析用 120ml/min

ブリッジ電流 100mA

恒温槽温度 50℃

充填剤

N₂, O₂, CO分析用 モレキュラーシーブ5A

CH₄, H₂, CO₂分析用 活性炭

2.4.3 窯内ガスの試料採取方法とその場所及び時間

試料採取はFig.2-3に示す機器を使用して行った。試料採取前にステンレス管、シリコンチューブ、集気びん及びα管内の空気を真空ポンプで排気した後、窯内の燃焼ガスを1分間吸引し、α管内に燃焼ガスを採取した。α管は直列に6個接続し、3個はモレキュラーシーブ5A用とし、残りの3個は活性炭用とした。試料採取の場所及び時間をTable2-1に示す。

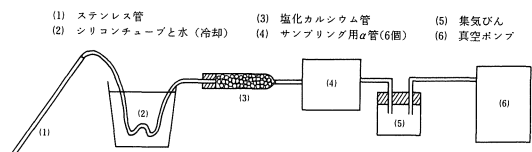


Fig. 2-3 試料採取装置

Table 2-1 窯内ガス試料採取場所および時間

No.	焼成開始後	試料採取場所 Fig. 2-1
1	2時間	煙出し部分 色見穴 b
2	24時間	煙出し部分 色見穴 b
3	33時間	煙出し部分 色見穴 a 色見穴 b
4	58時間	煙出し部分 色見穴 a 色見穴 b

3 実験結果

3.1 温度測定

約45秒毎に記録されている各点の温度を温度記録紙より1時間毎に選び出したものを、Table3-1に、それを図に表わしたものをFig.3-1に示す。

「あぶり」焼成中、付着水、結晶水を放出する温度付近での昇温速度が他に比べゆっくりしていることが測定値より確かめられた。

また「せめ」焼成において作られた温度差が「ねらし」焼成により小さくなっていることが分かった。

3.2 窯内ガス分析

焼成中 Table2-1に示した時間、場所で採取した窯内ガスの分析結果を Table3-2に示す。分析結果は空気に対する燃焼ガスの窒素量の比を基に多量、少量、微量、なし等の相対的な表現によって示した。

窯内では燃焼、熱分解反応が次々に行われるため、同時に採取した6個の試料でも各々分析結果が多少異なるため平均的な値で表わしたが、58時間後試料は全く異なるものがあるため、2種類に分けて表に示した。

4 考察

4.1 薪による焼成と窯内の温度変化

現在不連続窯の中で最も多く使用されている倒炎式ガス窯と今回の薪を燃焼とした窖窯の最も大きな違いは、その昇温曲線である。ガス窯の場合ガス圧の変動により若干の温度変動はあっても、Fig.4-1でみられるように、1時間毎の測定結果をグラフに表わせれば、特別の操作をしない限り、なだらかな上昇曲線が得られる。しかし薪を燃料とした窖窯では、今回の測定で分ったように、温度曲線が山、谷、山、谷の繰返しをしながら温度が上昇してゆくことが明らかになった。これは薪を投入した段階で燃焼が一時抑えられ、高温の燃焼ガスの流れが小さくなる。また新しく投入した薪が強く燃焼している薪からの放射熱を遮断するため窯内の温度が急激に下がる。そして、新しく投入された薪が加熱されて強く燃焼し始めると、高温の燃焼ガスの流れによる伝熱と燃焼室から直接受ける放射熱により温度を急上昇させる。この繰返しにより、山、谷、山、谷の温度上昇曲線になると思わ

れる。

従って焼成雰囲気及び温度に左右され易い釉薬を施した製品を、この様式の窖窯で焼成する場合、温度及び雰囲気の変動が大きいため、釉薬の微妙な溶け方を支配しにくいことが予想され、施釉品の焼成は非常に難しいことが考えられる。

4.2 焼成室の温度差

Fig.4-2は焼成室のB、C、D点で測定された温度の差（最高温度－最低温度）を4時間毎に算出し図示したものである。

焼成開始後より徐々に温度差が大きくなってゆくが、開始後16時間頃から結晶水の放出による吸熱のため高温部の昇温速度が小さくなり、温度差曲線が前に比べて緩やかになった。しかし「せめ」に入った段階で、薪の燃焼による放射熱及び燃焼ガスによる熱を十分に受けた焼成室前部とその影響をあまり受けていない後部とでは約400℃の差が測定された。

その後のねらし焼成により、温度差が少しずつ小さくなり、窯内温度の均一化が進んでいることがこの図より確かめられる。とくに焼成開始後52時間後の煙出し部分及び焚き口での操作は焼成室後部の温度上昇に効果が認められ温度差が約180℃まで減少した。これは大量に入れた一次空気により、熱分解を受けたガスが焼成室後部付近まで移動し、そこで燃焼してできた高温のガスにより温度が上昇したためと思われる。

「冷却」については空気の流通を遮断する方法をとったため、熱の伝熱理論に則り温度の高い地点の方が早く温度が下降するため、温度差は小さくなり、窯内温度はより均一になったと思われる。

4.2 窖窯の長さ方向の温度分布

Fig.4-3は焼成室及び煙出し部のB、C、D、E点で測定された各時間における平均温度を表わしたものである。

焼成開始後12時間頃までは、燃焼ガスによる伝熱の影響が大きく、燃焼ガスのよく通る窯内上部の温度が高くなり、長さ方向の温度差はあまりなかった。8時間後頃までは、むしろ吸着水等の影響を受けないE点の方が、高い測定値が得られた。

しかし燃焼室が高温になりその放射が大きくなると燃焼室の後ろに続く焼成室の前部では温度が急に高くなるが、中間部と後部は密に窯詰めされた製品の陰になり昇温しにくいいため、前部と後部との温度差は大きくなった。

従って焼成室前部は焼成開始後35時間頃に1200℃を越えているが、中間部ではまだ1000℃前後であるため、大半の製品の焼結が進んでいないことがFig.4-3より推定される。

Table 3-1 各点の温度

Time	A		B			C			D		E
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	
1 hr	90	30	40	80	20	30	50	30	80	70	
2 hr	90	30	40	90	20	30	60	30	90	80	
3 hr	120	40	50	120	25	40	90	30	100	70	
4 hr	130	40	60	120	30	40	100	40	100	80	
5 hr	110	60	90	110	60	70	90	60	120	90	
6 hr	190	80	100	180	60	70	120	60	160	120	
7 hr	230	120	150	210	90	120	170	90	180	140	
8 hr	220	130	160	210	110	120	160	100	180	140	
9 hr	330	200	245	280	150	180	235	125	265	210	
10hr	360	250	290	310	190	205	260	150	280	220	
11hr	360	265	295	330	190	235	290	180	290	230	
12hr	465	335	360	405	250	290	340	215	345	275	
13hr	545	425	460	500	300	350	420	245	415	325	
14hr	460	380	400	440	280	320	360	240	380	300	
15hr	580	490	500	530	340	390	470	290	450	350	
16hr	580	520	520	540	370	420	480	320	460	380	
17hr	580	530	540	550	390	420	490	330	480	380	
18hr	600	540	540	590	460	460	490	360	490	390	
19hr	620	625	610	610	530	530	590	420	545	435	
20hr	690	700	700	680	600	600	630	480	595	470	
21hr	620	590	610	620	560	575	580	500	555	470	
22hr	740	720	720	720	640	640	660	520	620	500	
23hr	780	800	800	770	700	700	710	570	670	540	
24hr	850	810	805	805	730	730	750	630	700	570	
25hr	700	780	750	740	700	710	770	640	700	580	
26hr	800	840	810	790	790	770	750	700	720	620	
27hr	880	975	940	890	890	860	870	730	790	660	
28hr	880	960	940	900	880	870	870	780	820	690	
29hr	870	890	875	880	850	850	840	800	810	700	
30hr	950	990	970	945	930	910	925	830	860	740	
31hr	1220	1180	1220	1200	1115	1110	1140	920	1110	820	
32hr	1170	1130	1160	1130	1020	1010	1045	895	970	790	
33hr	1020	990	1000	1000	945	960	960	860	900	720	
34hr	1180	1100	1140	1150	1005	1040	1070	850	995	750	
35hr	1240	1185	1210	1205	1100	1110	1160	945	1050	810	
36hr	1225	1150	1180	1190	1075	1110	1140	960	1040	820	
37hr	1285	1225	1250	1240	1160	1170	1180	1025	1095	880	
38hr	1305	1260	1280	1275	1200	1210	1220	1090	1130	920	
39hr	1290	1280	1290	1290	1210	1230	1240	1110	1150	940	
40hr	1310	1290	1295	1285	1230	1230	1230	1130	1150	945	
41hr	1300	1280	1280	1270	1225	1225	1230	1130	1140	950	
42hr	1250	1270	1230	1250	1220	1220	1210	1120	1140	950	
43hr	1280	1260	1260	1260	1200	1200	1200	1120	1120	940	
44hr	1260	1240	1265	1260	1190	1210	1215	1105	1125	940	
45hr	1265	1275	1250	1235	1199	1190	1190	1100	1105	940	
46hr	1260	1220	1225	1220	1165	1170	1170	1090	1095	915	
47hr	1270	1230	1260	1255	1180	1195	1190	1090	1115	925	
48hr	1260	1250	1275	1260	1210	1220	1220	1120	1145	955	
49hr	1275	1245	1255	1250	1200	1210	1225	1130	1135	960	
50hr	1270	1215	1255	1260	1195	1205	1200	1125	1140	965	
51hr	1225	1200	1225	1250	1200	1205	1200	1130	1150	980	
52hr	1205	1185	1215	1240	1180	1200	1200	1130	1160	980	
53hr	1230	1220	1220	1235	1160	1190	1190	1125	1160	980	
54hr	1080	1160	1160	1110	1150	1135	1140	1120	1120	980	

55hr	1280	1200	1280	1280	1230	1250	1260	1180	1200	1030
56hr	1290	1275	1275	1300	1270	1270	1265	1215	1260	1060
57hr	1295	1275	1275	1295	1280	1280	1280	1230	1265	1070
58hr	1275	1320	1225	1330	1330	1330	1335	1255	1275	1130
59hr	1235	1290	1295	1310	1330	1330	1345	1310	1310	1165
60hr	1100	1115	1115	1120	1145	1150	1145	1180	1155	965
61hr	1000	1010	1010	1012	1040	1045	1040	1070	1045	900
62hr	930	940	940	960	965	970	965	990	970	840
63hr	880	880	880	885	910	910	910	930	910	800
64hr	830	840	840	845	860	860	860	890	860	755
65hr	795	805	805	805	820	825	820	845	820	720
66hr	760	770	770	775	785	785	785	805	785	690
67hr	735	740	740	740	755	760	755	780	755	660
68hr	705	710	710	715	730	730	730	750	730	640
69hr	680	690	690	690	700	695	700	720	700	615
70hr	660	670	670	675	680	675	680	700	670	595
71hr	640	650	650	650	655	655	655	675	655	575

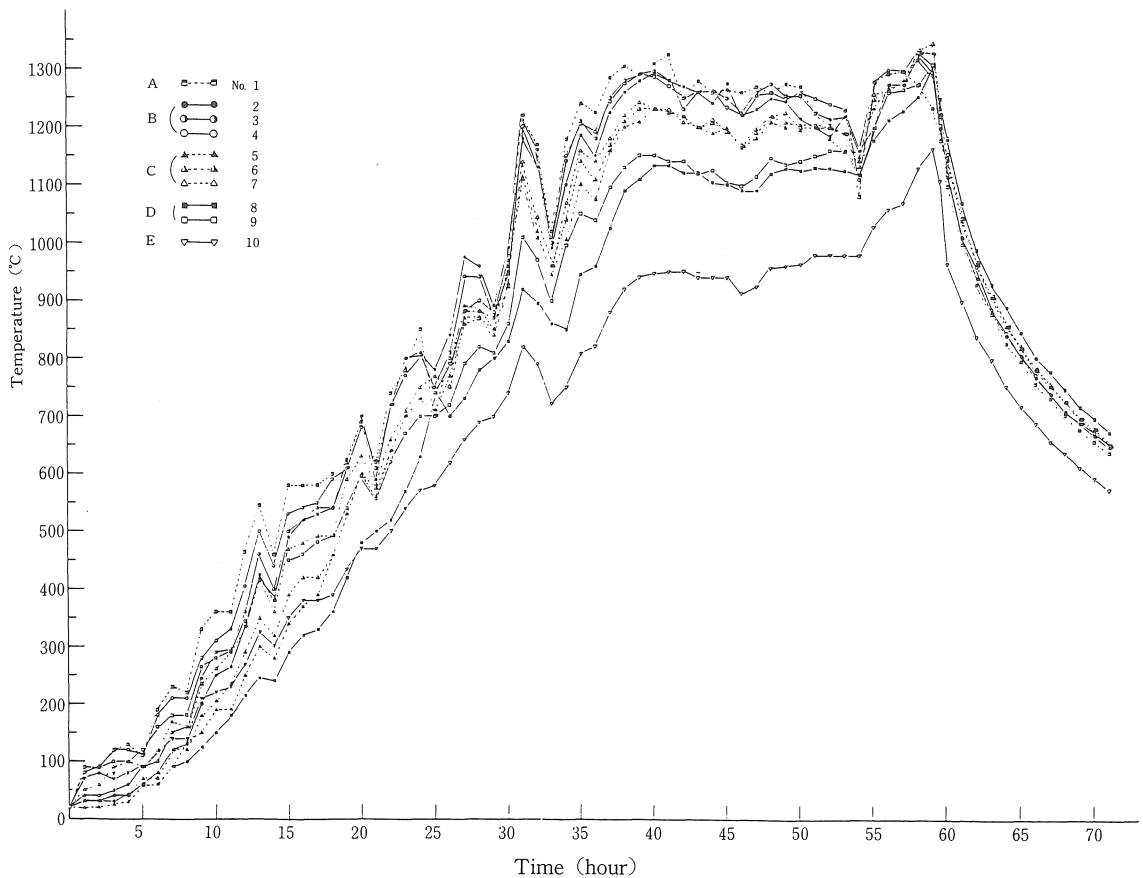


Fig. 3-1 窯内の昇温曲線

Table 3-2 窯内ガス分析結果

時間及びA点の平均温度	採取場所	N ₂	O ₂	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂
2時間後 90°C	煙出し部分	≒Air	≒Air	なし	なし	なし	なし
	色見穴 b	≒Air	≒Air	なし	なし	なし	なし
24時間後 850°C	煙出し部分	≒Air	Airより減	なし	少量	なし	なし
	色見穴 b	≒Air	Airより減	なし	少量	なし	なし
33時間後 1020°C	煙出し部分	≒Air	ほとんどなし	多量	なし	微量	微量
	色見穴 a	≒Air	≒Air	少量	なし	なし	なし
	色見穴 b	≒Air	ほとんどなし	多量	なし	微量	微量
58時間後 1275°C	煙出し部分	≒Air	≒Air	なし	なし	なし	なし
		≒Air	少量	少量	少量	なし	なし
	色見穴 a	≒Air	ほとんどなし	多量	なし	微量	微量
		≒Air	ほとんどなし	少量	少量	微量	微量
	色見穴 b	≒Air	≒Air	なし	なし	なし	なし
		≒Air	Airより減	少量	少量	なし	なし

(順序：多量>少量>微量>なし)

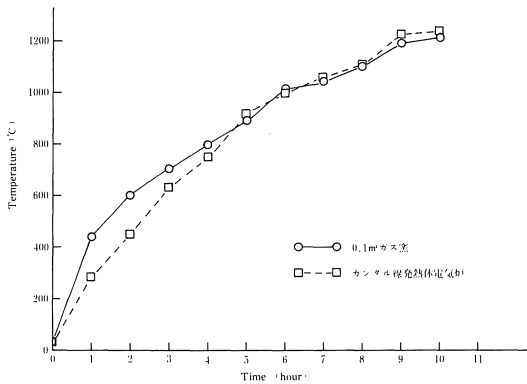


Fig. 4-1 ガス窯と電気炉の昇温曲線の例

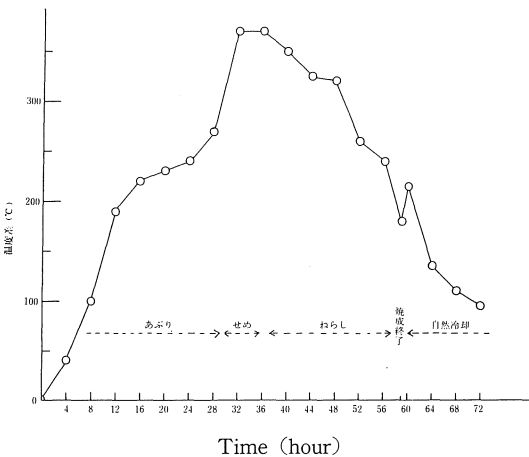


Fig. 4-2 焼成室内の温度差（最高温度－最低温度）の時間的推移

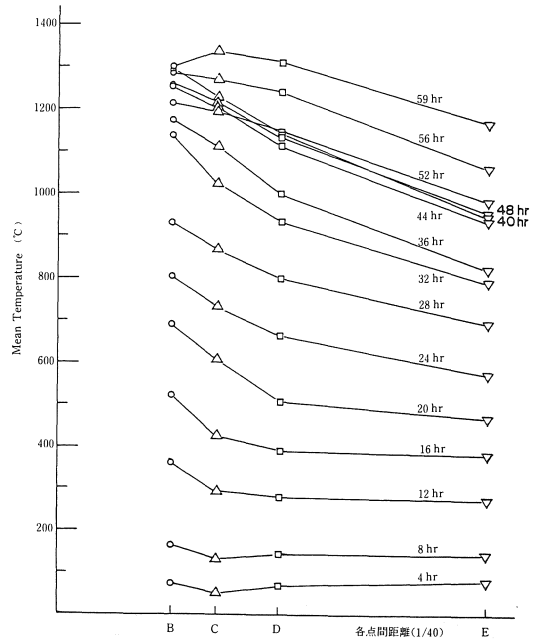


Fig. 4-3 各点の平均温度の時間的推移（焼成室）

「ねらし」時期に入り、Fig.2-2に示す焼成方法により昇温曲線は少し滑らかになり、またFig.4-2に示されるように、焼成室内の温度差は減少の傾向を示し、ねらし焼成の効果がみられた。とくに焼成開始後約52時間後に行われた焼成操作により、焼成室中間部がFig.4-3に示されるように、温度が上昇下に凸であった曲線が上に凸の曲線に変化していることが確かめられた。

この焼成方法は一次空気を大量に入れるので、窯内は酸化雰囲気になり易いため長い時間続けなかったが、温度を均一にする方法としてはかなり有効であると思われる。

この結果焼成室の後部に窯詰めした製品についても、前部及び中間部と同様にほぼ予期した通りの焼結が得られた。

4.4 高さ及び斜め方向の温度分布

Table3-1のB, C, D点の測定結果より、焼成室において窯内下部に比較して、窯内上部の方が高い温度が測定された。これはFig.4-4の熱電対保護管に附着している灰の量が示すように、高温の燃焼ガスの大半が窯内上部を通りその燃焼ガスの熱を受けたためと考えられる。

しかし600℃を越える温度より、窯内上部と中間部の温度の高低が入れ替わっているところがみられる。この現象は燃焼室の放射を多く受けている焼成室前部において特に顕著である。この理由は、新しい薪を投入した直後はその薪が、今まで勢いよく燃焼していた薪の放射を遮断し、さらにあまり加熱されていない一次空気が窯上部に移動して冷却作用をするためと考えられる。

またD点は燃焼室から遠いため、燃焼ガスによる伝熱が主であり、窯上部が常に高い温度を示した。

C点は斜め方向の温度分布を測定するために熱電対を設置したが、高さ方向で得られた値と大きな違いはなかった。

今回の測定により、窯内の温度分布は燃焼ガスの流れにかなり影響を受けることが確かめられた。つまりこの



Fig. 4-4 熱電対保護管に附着した灰釉及び焼成品

燃焼ガスの流れは、窯詰め方法により大きく変化することが推定され、棚板のなかった時代は窯内上部に大きな空間ができていたため、窯内温度の上下差はかなり大きくなってたと推定される。

4.5 窯内ガス分析

「あぶり」焼成を開始して2時間後に採取した試料は、CO₂が検出されなかったが、これは一次空気により燃焼ガスが十分薄められたためと考えられる。24時間後試料で初めてCO₂が検出され、それに伴ってO₂量も減少していることが確かめられた。33時間後試料は「せめ」から「ねらし」焼成に入り、窯内温度も1000℃付近に到達しており、薪の熱分解反応が活発に行われている時期である。そのため過剰のO₂が存在していない部分では、CH₄やH₂が酸化されないまま存在していることが今回の測定で確かめられた。これは特に焼成方法が一次空気を押えてO₂量を減らした還元炎焼成を行っているため上記の結果が得られた。58時間後試料では温度がさらに上昇し熱分解反応もさらに活発に行われているため、同時に採取した試料にも異なった検出結果が得られた。ここでも33時間後試料と同様にO₂のほとんどない試料にCH₄とH₂が検出された。

薪を燃料とした窯では、Table3-2の58時間試料に代表されるように、部分的にはかなり不均一な雰囲気になっていることが確かめられた。つまり燃焼ガスは煙出し部分を過ぎるまで次々と反応している状態であるため、上記のような結果が得られたと考えられる。

しかしながら本焼成実験で焼成された製品の素地及び釉は、焼成前に計画した焼成雰囲気の発色を示した。従って窯内の雰囲気は、部分的に不均一であっても、焼成全体としては計画通りに調節されていたと考えられる。

4.6 焼成日数と薪使用量

焼成前には窯内全体を約1300℃まで昇温させるには、少なくとも1週間前後は必要であろうと推定したが、実際には焼成日数3日間、使用薪量約600束と予測に比べてかなり異なった結果が得られた。その理由として次のことが考えられる。

- (1) 赤松を燃料とした。
- (2) 窯内が比較的乾いていた。
- (3) 薪が完全燃焼しやすい焼成方法がとられた。
- (4) 窯天井の断熱性が良かった。
- (5) 通風力が大であった。

(1)については、燃料に使用した赤松が雑木に比べてテレビンが多く燃えやすく炭素分が多いため発熱量が高い¹⁰⁾ことが原因と思われる。(2)、(3)については焼成実験前、中の空気の乾燥状態が、薪の燃焼を助けたこと、そして築窯した場所に湧き水が全くなかったこと等自然の

条件が幸いしたこと等が挙げられる。また Fig.2-2 に示されたような「ねらし」時期にとられた焼成方法により、薪の燃渣がほとんど出ない効率の良い燃焼が行われたことにも原因があると思われる。(4)については、天井壁に耐火断熱レンガを使用したため、断熱性に優れ、天井外壁に塗ったスサ入り粘土のスサが全く燃焼していなかったことから推定できる。(5)については立地条件などにより異なるため窰窯の傾斜だけでは判断できない部分が多いが、ガス分析結果の2時間後試料の結果より、通風力は十分であったことが推定される。

以上のように窰窯の焼成に良い条件が揃ったため、短時間で焼成を終了することができたと思われる。

4.7 自然灰釉の付着量

焼成実験後窰内の側壁の一部採取して、その状態を調べた結果、燃焼室から窰中央部まで、比較的薄い状態で灰釉が付着していた。しかし焼成後部の側壁試料は、全くガラス光沢がなく、今回の3日間の焼成では自然灰釉として認められる厚さの試料はほとんど無かった。しかし窰の上部には幾分多く灰釉が付着した試料が存在した。

この理由は、灰分が少ない赤松を燃料としたこと、さらに焼成日数が3日間であったこと、そして棚板を数多く使用し、下に密上に粗の窯詰め方法であったため、燃焼ガスの流れが窰上部に集中したことなどが挙げられる。

発掘された兼近1号窯の燃焼室の側壁より採掘された試料は灰釉が厚く付着しており、今回の側壁試料の10~20倍の厚さがあった。このことより兼近1号窯はかなりの回数の焼成が行われたこと、また燃料には赤松より灰分の多い雑木が使用されていたこと等が推定される。

4.8 焼成品の歩留まりについて

発掘された窰窯の周辺には必ずおびただしい数の陶片が発見されているが、これは今回の焼成実験を通して考えると、次の点から当時はかなり歩留まりの悪い状態であったことが推定される。

- (1) 床面がかなり急傾斜であり、三角トチだけでは製品を高く積むのは難しい。
- (2) 窰内温度が場所によりかなり大きな差があるため、製品はその焼成収縮差等により大きな歪を生じ、亀裂が入りやすい。
- (3) 通風力が大きいため、その強さで積み上げた製品を倒すおそれがある。
- (4) 特に焼成室前部においては、高温になり過ぎて、焼成品が他の焼成品と熔着する。

今回の焼成実験では、(1)、(3)の事項を考慮して棚板を多く使用した。しかし一部では Fig.4-4 に示すように焼

成品が倒れた例がみられたが、全体としては、予期した結果が得られ、当時に比べれば、良い歩留まりを得たと考えられる。

5 結言

豊田市高崎町で発掘された平安時代中期と推定されている兼近1号窯を復元し焼成実験を行い、窰内温度測定、窰内ガス分析等から次の知見を得た。尚燃料は赤松を使用した。

- (1) 焼成は約60時間行い、窰内の最高到達温度は1345℃を示した。その時最も温度の低い点との温度差は180℃だった。
- (2) 窰内雰囲気は高温時において、部分的には非常に不均一なところもあるが、焼成全体で雰囲気を調節することは可能だった。
- (3) 燃料に用いた赤松は約600束使用した。
- (4) 赤松は灰分が少ないため、自然灰釉の付着量は少ない。
- (5) 焼成室全体の焼成品を十分に焼結させることができた。

以上のことから、兼近1号窯の復元と焼成実験は、初期の目的を達成することができた。

参考文献

- 1) 石川県美術館：日本陶芸の源流、猿投古窯（1974）
- 2) 檜崎彰一：猿投出土陶三彩と緑釉陶、五島美術館（1967）
- 3) 鈴木巳代三、小島豊之進：窯業窯炉窯業協会、東京（1971）
- 4) 新井司郎：縄文土器の技術、中央公論美術出版
- 5) 瀬戸市教育委員会：瀬戸市史、陶磁史篇二、野焼き（1981）
- 6) 名古屋市教育委員会：御影町古窯跡群発掘調査報告（1974）
- 7) 名古屋市教育委員会：NK I 34号古窯跡発掘調査報告（1975）
- 8) 瀬戸市教育委員会：釜ヶ洞古窯跡群発掘調査報告（1978）
- 9) 岐阜市教育委員会：老洞古窯跡群発掘調査報告書（1981）
- 10) 陶器大辞典巻四五月書房東京（1980）

謝辞

焼成実験を行うに当たり、築窯、焼成は豊田市教育委員会並びに本多静雄先生の協力により行われたもので、ここに厚く謝意を表します。

尚本焼成実験は、愛知県立芸術大学並びに愛知工業大学、両大学の学生の協力を得た。

また筆者の一人（津坂）にこの機会を与えて下さった愛知県立瀬戸窯業高等学校に感謝致します。

（受理 昭和59年1月17日）