

復元古窯の焼成実験（II）

藁を燃料とした野焼き

津坂和秀・長池潤一・加藤伸也・長坂克巳

An Experiment using the Oldest Style of Firing Potteries (II)

“Noyaki” using Straw

Kazuhide TSUSAKA, Junichi NAGAIKE,
Shinya KATO and Katsumi NAGASAKA

“Noyaki” firing method was probably used in Japan from the Jōmon period to the Kamakura period. (BC75—AD14)

We made two experiments. During the first one we laid straw down and put the green ware on top of it, then we packed straw into the green ware and laid a thick layer of straw (approximately 1m) over it. We controlled the temperature of the fire using rice hull and rice hull ash. During the second experiment we controlled the temperature using a firebrick wall and rice hull.

Experimental results are summarized as follows ;

- (1) Straw lightness makes it a good firing material when stacking, and straw ash even when half burned didn't crack the green ware as half burned wood would.
- (2) During the first experiment we could hold the average temperature at about 500°C by controlling the amount of rice hull and rice hull ash put over the straw. The temperature peaked at about 850°C.

During the second experiment the average temperature was held at about 700°C. The temperature's peak was about 900°C.

- (3) The temperature of the second experiment kept longer because of the wall.
- (4) Earthenware fired light brown using straw.
- (5) We made sure that the straw burned completely, so the ware didn't turn black.
- (6) We put some of earthenware into a protective box packed with sawdust or pineneedles and sealed them as well as we could. The result was that ware turned black.

1. 緒 言

古窯址等を参考にして焼成実験を行い、古い時代のやきものを知らうとする試みは、数多く行われている。その中で新井等¹⁾は、野焼きによる縄文土器の焼成実験を行い、焼成状態等を観察し、焼成温度の推定等を行っている。瀬戸窯業高等学校専攻科生等²⁾は、平地を少し掘って窪地を作りそこに焼成試料を並べて焼成し、土師器等を作製する焼成実験を行っている。しかしいずれも燃焼温度（焼成温度）及びその時間的経過に関する文献値は見当らない。そこで筆者等は前報³⁾において、平安時代に築かれた窖窯を復元し、須恵器に関する焼成実験を行い、詳細な報告を行ったが、本研究では、前報の窖窯の時代

よりもさらに古い時代の焼成方法と考えられている野焼きによる土器の焼成実験を行った。

考古学者によれば、野焼きによる土器の焼成は、これまでに発掘された土器等から、縄文時代に始まり、鎌倉時代頃まで行われていたと推定されている。そしてその構造は、最初はただ平地に土器の生製品を置き、その上に燃料を積み上げ焼成したごく簡単なものから始まり、平地を掘って窪地を作ったのち、そこに生製品を並べて燃料を積みあげて焼成したものへと変化して行くと考えられている。焼成に使用した窯は、その後窖窯、登窯等を経て、燃焼効率の良い現在の窯へと変化してきた。また使用燃料も窯の構造の変化に伴ない様々に変化してきた。

従って野焼きについては、その窯跡(以下地面を含め、野焼きによる焼成に係るすべてのものを、野焼きの窯と呼称)の発見が難しいこと、また窯の構造が現在と全く異なっているため、当時の技術の伝承が全くないことなどが、その燃料、規模、方法等の詳細を不明確にしている原因となっている。筆者の一人は、以前タイ国を訪問した時に、現在尚土器の焼成に、野焼きが用いられていることを偶然発見したが、この野焼きによる焼成方法の歴史がかなり古いと仮定できるならば、日本における野焼き焼成の解明の手がかりになると考えられる。

そこで本研究では、このタイ式の野焼き方法を一部参考にして、我々独自の計画を基に二種類の野焼き窯を作製し、以下の項目について明らかにするため、本実験を行った。

- (1) 藁による土器の焼成の可能性
- (2) 藁、籾殻等を用いて作製した野焼き窯内の温度分布とその時間的経過
- (3) 籾殻、籾灰の使用量と燃料の燃焼状態
- (4) クレの効果
- (5) 黒陶土器の作製の可能性
- (6) その他自然環境の影響等

2. 実験方法

2.1 焼成試料の作製

焼成試料の原料には、瀬戸、長久手周辺で採取した白土及び黄土を用いた。これを混練した後紐作り手法にて成形し、手ロクロを用いて形を整えた。そして半乾燥後水打黄土及び白化粧土を用いて加飾し壺形の焼成試料とした。

2.2 築窯及び燃料

本実験では、藁、籾殻、籾灰のみを使用し焼成する窯(以下1号窯と呼称、図2-1)とクレで周囲を囲み、その中で藁、籾殻を使用して焼成する窯(以下2号窯と呼称、図2-2)の二種類を作製した。

1号窯はトタン板を敷いた上に藁束50束をほぐし、広さ140×140cm、厚さ10cmに敷きつめた。その上に焼成試料を置き、試料間には藁をはさみ込んだ。そして試料を囲むように5cm角の薪木を1辺2本ずつ四方に並べた後、藁150束をほぐし、斜めに立てかけるように試料の上に均一に掛けた。そしてその上に急激な燃焼を押し返ると同時に断熱効果を持たせる目的で、籾灰を200ℓと籾殻を700ℓを均一に振り掛けた。

2号窯は1号窯と同様にトタン板を敷いた後、クレ72個を5段の高さ70×140×127cmの方形の囲いを作製し、藁35束をほぐし、厚さ10cmに敷いた。焼成試料を置いた後1号窯と同様に5cm角の薪木を用いて試料を囲

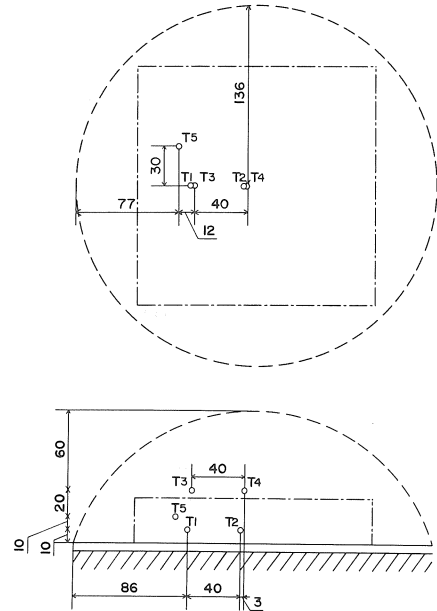


図2-1 1号窯の平面図及び断面図

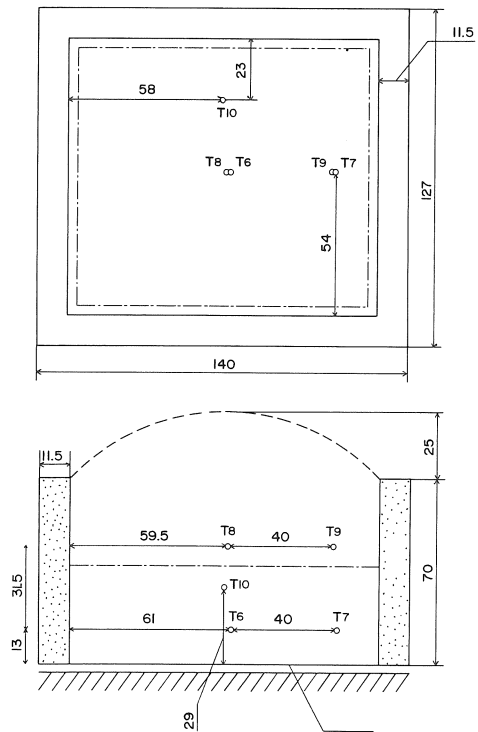


図2-2 2号窯の平面図及び断面図

み、藁85束をほぐし、焼成試料を覆った。そしてその上に籾殻500ℓを均一に振り掛けた。

尚黒陶用の焼成試料は、サヤ内に鋸屑、松葉、籾殻と

一緒に入れ、サヤを逆さにして敷藁の上に置いた。

2.3 温度測定

温度検出部には、白金-白金ロジウム13%熱電対を使用し、磁製保護管により窯内雰囲気の影響を避けた。熱電対と計器の間は補償導線で連結した。

温度計測器には打点式24点電子温度記録計(千野製作所製)を使用してチャート紙に温度を記録した。

温度測定点は、図2-1, 2に示すように1号窯では、 T_1 から T_5 までの5点、2号窯では、 T_6 から T_{10} までの5点の計10点とした。このうち T_1 , T_2 , T_6 , T_7 は試料と藁とに取り囲まれた位置にある。 T_3 , T_4 , T_8 , T_9 は試料上方の藁中に埋没され、 T_5 と T_{10} は焼成試料と同一原料で作った約1 cm厚さの試料の中へ熱電対を直接埋め込んだ。

3. 実験結果

3.1 温度測定結果及び焼成状況

1号窯の温度測定結果を図3-1に示す。1号窯は着火後藁の燃焼を少し押さえるため、粗穀を約3 l追加した。約3時間後に四方に空気穴を設け燃焼し易い状態にした。風の影響を受けた所がよく燃焼し、逆に風下にあたる部分は燃焼が遅れる傾向がみられた。7.5時間後には、藁は白と黒の灰が混在した状態になるまで燃焼し、約9時間後に焼成試料を取り出した。尚 T_3 点と T_4 点の

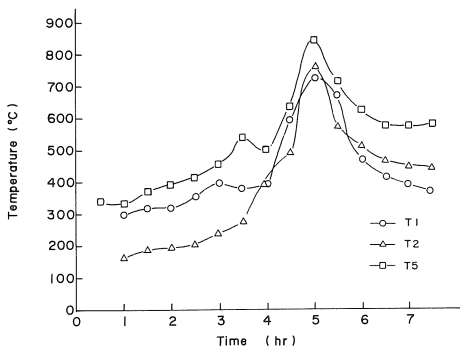


図3-1 1号窯の昇温曲線

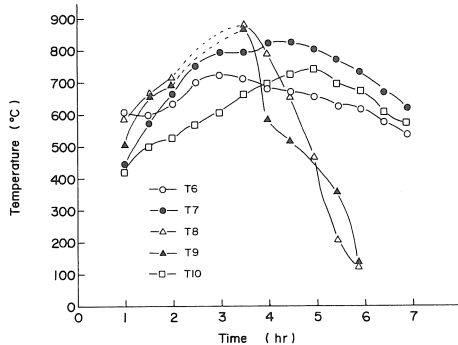


図3-2 2号窯の昇温曲線

熱電対は焼成初期から、藁等の重量、その他の原因により熱電対が切断し測定できなかった。

2号窯の温度測定結果を図3-2に示す。2号窯は1号窯と異なり着火した時点から白煙を伴って燃焼した。3時間後に窯の高さは、藁が燃焼され30cm程沈み込んだ状態になった。その後燃焼によりできた間隙は、脇のオキで充填しながら焼成を続けた。5時間後には、1号窯ほどではないが、2号窯も風の影響を受けて、北側は燃焼がよく進み、白黒の細かい灰状になり、南側は黒い炭状の藁になった。5.5時間後には、窯が55cm程沈み込み、 T_8 点と T_9 点の熱電対が露出した。7時間後にクレを2段取り除き、空気の供給を助けた。そして約9時間後に、1号窯と同様に、焼成試料を取り出した。

3.2 試料の焼成状態

1号及び2号のいずれの窯においても破損した試料は殆どなかった。しかし2号窯で焼成した試料は、1号窯のそれよりもよく焼締っていたが、土器としての発色を失ったものが多かった。

さやに鋸屑等と共に入れた焼成試料は、表面及び内部に炭素が吸着し、所謂黒陶土器となった。

4. 考察

4.1 燃焼の形態

本実験において燃焼の形態は、各窯について次の3段階に分けて考えることができる。1号窯については、図3-1に示すように、焼成開始から開始後約4.5時間までの比較的緩やかに温度が上昇している段階と、最高温度時の約1時間の段階と、その後の段階の3段階がそれぞれある。また2号窯については、図3-2に示すように、高温時の3~4時間とその前後の3段階が考えられる。

(1)第1段階 燃料の藁と粗灰、粗穀が密に堆積されているため、着火しても空気(酸素)の供給が不足しており、多量の煙を発生し不完全燃焼が行われる。従って藁等の有機物質は乾留に近い状態で熱分解される(以後この熱分解を準乾留と呼称)。またこの熱分解は、吸熱反応であるから、不完全燃焼と相俟って堆積体全体の温度上昇は期待できない。藁等の熱分解反応によって生成する物質は、分解ガス、タール、高分子固体物質(さらに熱分解可能な煤状物質)及び炭素等である。炭素以外の物質はさらに燃焼熱により熱分解を受けて低分子物質となる。タール及び高分子固体物質は、分解ガスを生成しつつ最終的に炭素を残留する。一次分解生成物及び二次分解生成物等が、さらに高次の熱分解を受けることなく、また燃焼もせずに堆積体から外部へ逸出したものが、前述した多量の煙である。

従ってこの段階の燃焼形態は燻焼(smouldering)が主

体である。またこの段階は被熱物にとっては予熱期間と考えられ、焼成試料の素地中では、吸着水が放出し、結晶水が放出され始める期間でもある。

(2)第2段階 この段階では、堆積体中心部の準乾留はかなり進行し、部分的には終了してオキによる高温団塊を形成する。外周はこの段階で準乾留状態が進行し、この段階の終期には、ほぼ終了する。いま燃焼が気相状態で行われるとき生成する燃焼生成物を火炎と定義すれば、この段階における燃焼も部分的にミクロ的ながら火炎が存在する。しかしいわゆる火炎燃焼にみられるような長くかつ激しい炎ではない。オキ燃焼ないし表面燃焼の状態に近い。この段階は被熱物にとっては焼成期間であり、焼成試料の焼締りの結果に大きく影響する。

(3)第3段階 この段階は藁等の燃料全体がほぼ準乾留を終え、可燃物としての炭素分も減少して堆積体全体の体積も縮少し燃焼の終期に向う時期である。堆積体温度も低下し始める。この段階にいたってもなお被熱物すなわち焼成試料の一部に密着した藁が準乾留を終了せず、試料の表面及びその内部に準乾留生成物を残留する場合がある。被熱物にとってこの段階は徐冷期間である。

以上の3段階を別の観点から考えてみる。先ず堆積体の体積は始め大きく、燃焼の進行とともに減少するが、その間の充填密度及び空隙率は一定であると仮定する。この仮定の上に立って、堆積体の単位体積内へ流入する空気量も一定値より大きく外れて上下しないものと考えられる。この場合、条件として最も大きく変化するのは単位体積内の可燃物の量である。この量は燃焼全期を通じて減少する。すなわち第1段階と第2段階の前期の一部は可燃物の量に対し空気量が不足の状態であり、第2段階終期及び第3段階では空気の供給が十分となり、試料は結果として酸化焼成を受けた状態となる。第3段階の項で述べたように、部分的には酸化反応が完全ではなく、試料の表面に炭素質を残留するものもある。

以上とは別に、サヤの中に鋸屑等とともに入れた試料を堆積体内に置き、空気を断って焼成した所謂黒陶の場合は、鋸屑等が乾留を受けて炭素を残留した。この場合、炭素以外の熱分解生成物は高温の試料表面及び内部表面に滲透し、これら表面の接触作用と高温とにより、さらに熱分解して炭素を残留し、所謂黒陶を生成する。黒陶は空隙を炭素質で充填されたことと、炭素の疎水性とにより、他の試料と比較して、打撃音の音程は高く、吸水性は非常に小さい。

4.2 窯内の温度変化

4.2.1 1号窯の温度変化

一般に藁の燃焼は、空気の供給が十分であれば木材等のそれに比較して早いため、土器の焼成には適さないとい

されていたが、本実験では、藁の上に振り掛けた籾殻、籾灰が、一般の藁のダンパーと断熱材の役割りを果たし藁を長時間緩やかに燃焼させ、また長時間高温に保持させた。これは着火直後の藁の燃焼を、籾殻を追加することにより少し押さえたこと、図3-1に示すように7時間以上500℃内外の温度を保持したことからも明らかである。

窯内の温度分布は、測定点でみる限り中心部へ行く程低くなっている。これは籾殻と籾灰が空気の供給を妨げるため、中心部へ行く程燃焼に必要な酸素が少なく、発熱量も小さいためと考えられる。その結果位置的には、窯の中心と、外周との中央にある T_5 点が常にその時点において最高温度を示したと考えられる。

また着火3時後に示されている T_5 点の温度変化は、その時間に窯の四方に空気穴を設けた焼成操作によるものと考えられ、燃焼した藁のオキ及び灰が籾殻と同様に空気の供給を阻害するため、一時的な燃焼に留まり図のような小さな山形の曲線を示したと考えられる。

現在使用している窯は、電気炉を除いて普通煙突を設けて通風力を大きくし、大量の空気の供給を可能にしているが、本実験のような野焼き窯にはそれがないので、籾殻等で空気の供給を調節する層を設けると、緩やかな燃焼を長時間保持できることが確かめられた。

また着火後5時間前後の最高温度は、4.1の第1段階で述べたように、堆積体全体が徐徐に加熱されていたこと、北風が強くなり空気の供給量が大きくなったこと、燃焼が進んで堆積体の空隙率が大きくなり、空気が通り易くなったこと等により燃焼が活発に行われ生成したと考えられる。

従って1号窯の焼成温度については、人為的な因子としては、藁、籾殻、籾灰の量及びその堆積方法が、自然環境的な因子としては、風の強さ、方向が最も大切な因子として挙げられることが確かめられた。

4.2.2 2号窯の温度変化

図3-2に示すように、2号窯は藁の上に掛けた籾殻が1号窯より少なく、籾灰も掛けなかったため、燃焼が1号窯に比べて早くから全体に及んだ。しかし断熱効果に優れるクレを使用したため、全体として600℃以上の温度を長時間保持できたと考えられる。

また焼成試料の中央に設けた T_6 、 T_7 点の温度が早くから600℃以上の高温になっていること、そして焼成試料の上部にある T_{10} 点も焼成中 T_6 点とほぼ同程度の高温になっていること等から、すべての焼成試料が、土器として十分に焼締められていることが推察できる。

藁中に埋め込まれた T_8 、 T_9 点では、燃焼が進むにつれ、藁が沈み込み着火後4時間頃から熱電対が露出し始めた

ため、図に示すように温度が急に下降した。

1号窯と2号窯を比較して、最も異なる点は、その燃料の使用量である。1号窯の藁200束に対し、2号窯は藁120束にもかかわらず、1号窯より高温でしかも長時間保持している。これはやはりクレの効果であると考えられる。野焼きの窯の周囲をクレ等のレンガで囲むだけで効果が得られる極めて簡単な技術であるので、現在窯跡としては発見されていないが今後このような窯跡が発見されても不思議でないと考えられる。

4.3 試料の焼成状態

藁を燃料として土器を焼成する場合、酸化焼成独特の土器の赤褐色が出ない、炭素が吸着し黒くなる、また土器として十分焼締めるには、藁を多量に必要とする等が、これまでの一般論であった。しかし本実験では、土器独特の淡い赤褐色を帯びた焼成品を作製することができた(図4-1)。これは焼成試料中の $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ が藁の不完全燃焼により還元を受けて、一旦 Fe_3O_4 に変化するが、4.1で述べたように、第3段階に入り、堆積体の空隙率が大きくなるため、酸化を受け $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ に変化し、その後冷却過程で $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ に転移し、土器独特の赤褐色が得られたと考えられる⁹⁾。また同様の理由により一旦付着した炭素も第3段階で再び酸化されるため、黒い着色は、焼成試料底部の一部を除いて認められなかった。

また、サヤに鋸屑、松葉、籾殻と共に入れた焼成試料は、4.1で述べたように試料表面及び内部に炭素を吸着し、それが酸化されることなく焼成が終了したため、所謂黒陶土器となった。(図4-2)



図4-1 1号窯で焼成した土器



図4-2 2号窯で焼成した黒陶土器

5. 結 言

縄文時代から行われていたと推定されている野焼きによる土器の焼成を藁を燃料として焼成実験を行い、焼成試料付近の温度測定及び焼成試料の観察等から次の知見を得た。

- (1) 藁の持つ柔らかさ及び軽さは、脆い土器の窯詰め及び焼成に適している。
- (2) 藁の上に振り掛ける籾殻、籾殻の量及びその方法は、窯の焼成を支配し、1号窯では、平均約500℃、最高温度約850℃、2号窯では、平均約700℃、最高温度約900℃を示した。
- (3) クレで四方を囲むことは、高温度を長時間保持するのに効果がある。
- (4) 藁は赤褐色の美しい土器の作製に十分な焼成温度を与える。
- (5) 藁は白い灰になるまで十分燃焼させれば、土器を黒色に炭化させない。
- (6) サヤ等を用いて鋸屑、松葉等を一緒に入れて、できるだけ密封すれば、美しい黒陶を作製することができる。

本焼成実験は、瀬戸陶瓦研究会が主体となって行ったもので、筆者等はその会員である。

参考文献

- 1) 新井司郎：縄文土器の技術，中央公論美術出版
- 2) 瀬戸市教育委員会：瀬戸市史，陶磁史篇二，野焼き
(1981)
- 3) 津坂和秀，加藤伸也，加藤重高，長坂克巳：復元兼
近1号窯の焼成実験，愛知工業大学研究報告，第19
号，61-70，1984
- 4) 吉木文平：鉱物工学，技報堂，東京，(1968)

謝 辞

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。ここに厚く謝意を表します。

(受理 昭和61年1月25日)