

## NC ローラーマシンによる高精度成形及び特殊形状成形に関する研究

蒲地 伸明、関戸 正信  
佐賀県窯業技術センター

NC ローラーマシンの内ゴテ成形、外ゴテ成形それぞれの成形因子が製品性状に与える影響について実験計画法を用い確認を行った。その結果、NC ローラーマシン特有の成形因子が製品性状に大きな影響を与えることがあることを確認できた。また、解析結果をもとに薄肉製品や、ヤエン付き袋物の成形試験を行い必要な成形条件を明らかにした。

### Optimization in NC roller-machine forming process to achieve the specific shape products.

KAMOCHI Nobuaki, SEKIDO Masanobu  
Saga Ceramics Research Laboratory

Numerical control (NC) roller machine forming process was studied using experimental design method. Some NC roller machine specific parameter deeply affected the properties of fired body. The very thin bowl and tea pot body with gallery could be achieve based on these results.

#### 1. はじめに

ローラーマシンは高精度の回転体を短時間で量産可能であるため、肥前地区においても多く利用されている。ローラーマシン成形は金属製の上型(ヘッド)と石膏製の下型を用い、石膏型の上に乗せた陶土を上型の下降動作と上型下型の回転差により延ばし生地を作る。成形力が強いために成形直後の生地形状は一定であるが、生地中の組織は成形条件の影響を受けており、乾燥や焼成工程で形状が変化する。過去に、著者はヘッドの上下運動をカム機構で行う従来型のローラーマシン(UR-50 型: 高浜工業株式会社製)の成形に関し、成形条件が最終製品に与える影響について実験計画法により解析し報告した<sup>1,2)</sup>。一方で、ローラーマシンの挙動を数値制御するNCローラーマシンの導入が肥前地区でも進みつつある。NCローラーマシンはヘッド角度、位置、成形時間等が数値入力により細かく設定できるため、従来型と比べ製品の切り替えに要する時間が大幅に短縮され、セッティングの精度や再現性も飛躍的に向上した。上記の利点に加え NC 制御のローラーマシンは各制御項目を独立して動作させることができることから、従来のローラーマシンでは成形が出来なかった特殊な形状も成形できるという特徴がある。しかし、カム式ローラーマシンと異なる NC ローラーマシ

ンの制御因子が製品性状に与える影響については明らかにされていない。

そこで、本研究では NC ローラーマシン(URM-125 型: 高浜工業株式会社製: 図1)を対象に、NC ローラーマシンの制御因子が製品性状に与える影響について実験計画法を用いて解析するとともに、従来型のカム式ローラーマシンでは成形困難な形状について成形試験を実施した。

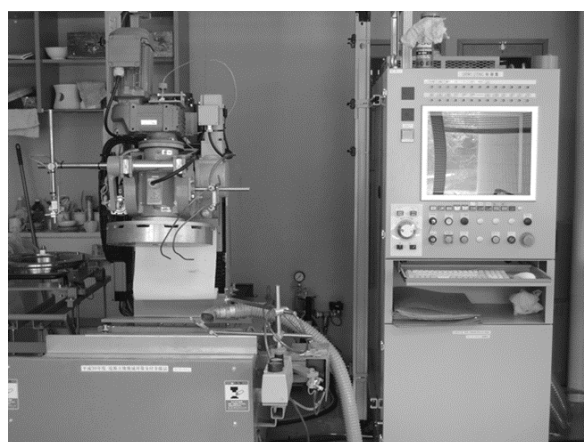


図1 NC ローラーマシン(URM-125 型:高浜工業株式会社製)。

#### 2. 実験方法

##### 2.1 内ゴテ成形解析

直径 8 cm、硬度 10~10.5(NGK 硬度計)の市販天草撰

上陶土を用い、型寸法が直径 154 mm高さ 62 mmのボウルを成形した。図2 に使用したヘッド及び型の図面を示す。図3 に内ゴテ成形におけるヘッドの軌道及び制御因子を示す。成形時に NC ローラーマシンのヘッドは“X 軸セリ込み量”だけ石膏型中心から成形機正面(図2 における型中心の左側)へ移動した位置から鉛直方向へ下降を開始する。鉛直方向へ向かう直線と、最終的な生地形状を決める仕上げ位置からセリ込角で指定した角度で延ばした直線の交点にヘッド位置が到達すると“セリ込角”でヘッドは型中心に向かって斜めに下降し、“仕上げ時間”停止後、“逃げ角”に従って上昇し成形が完了する。ヘッドの下降速度は“セリ込み時間”によって、ならし時の上昇速度は“ナラシ時間”で決定される。内ゴテ成形の解析ではこれらの6 制御因子に石膏型の回転数である“ロクロ軸回

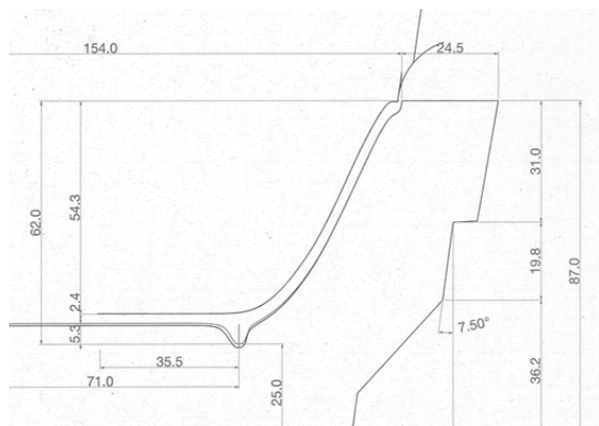


図2 内ゴテ成形に使用したヘッド及び型の図面。

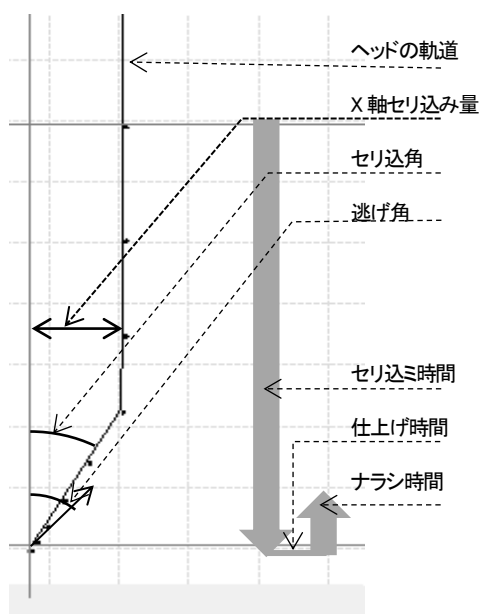


図3 内ゴテ成形におけるローラーマシンヘッドの軌道と制御因子。

転数”とロクロ軸とヘッド軸の“回転差”の2 制御因子を加えた8 制御因子について実験を行った。なお、制御因子の表記はURM-125型の制御ソフトウェアの表記方法を採用している。表1 に各制御因子と設定した3 つの水準値を示す。なお、それぞれの制御因子における水準値の決定は予備試験により最も厳しい条件でも生地に割れが発生しない範囲で決定した。表1に示した制御因子をL27 直交表に割り付け、27 種の成形条件でそれぞれ7 個ずつ成形を行った。ローラーマシン成形で安定した成形を行うためには15%程度の余剰土が必要であることから<sup>1)</sup>、1 回の成形における陶土使用量は200gとした。この時の成形直後の成形体重量は約170gであった。また、ヘッド温度は105°Cに設定した。使用した石膏型は63 個であり成形後28°Cに調温した室内で自然乾燥した。乾燥後脱型を行い縁部の削り仕上げを行った。得られた27(種)×7(個)=189(個)の成形体は0.3m<sup>3</sup>強制対流式ガス炉(高砂工業製)で1300°C、10 時間の還元焼成を行った。焼成は3 回に分けて実施したが、炉内12か所(戸前、右、左、奥×上、中、下)で測定したリファサーモ(JFCC 製:type M)の指示温度は1294~1285°Cと10°C未満の範囲であった。なお、釉による重量や軟化変形への影響を避けるため、施釉は実施せず締め焼きとした。

得られた焼成体の、重量、直径((短径+長径)/2)、底落(高台最下部から裏面碗中央部までの距離をディプスゲージで計測後、焼成後の高台高さ4.0mm から除算した値)、内側(ヘッド面)の表面状態(ヘッド跡の有無、粗さ)、縁形状の6 項目について分散分析を行い各制御因子の影響について確認した。

表1 内ゴテ成形における各制御因子と水準値

制御因子	水準1	水準2	水準3
X 軸セリ込み量 /mm	0.5	2.5	4.5
セリ込角 / °	30	45	60
逃げ角 / °	0.5	30	60
ロクロ軸回転数 / r.p.m.	450	550	650
回転差 / r.p.m.	50	100	150
セリ込み時間 / sec.	1.0	2.0	3.0
仕上げ時間 / sec.	0.2	0.4	0.6
ナラシ時間 / sec.	0.2	0.4	0.6

## 2.2 外ゴテ成形解析

直径 15cm、硬度 10.5～11.0 の市販天草撰上陶土を用い 9 インチ洋皿を成形した。図 4 に使用したヘッド及び型の図面を示す。表 2 に各制御因子と設定した 3 つの水準値を示す。

外ゴテ成形の場合、ヘッド面で高台部を成形するため、内ゴテ成形のような大きなセリ込角や逃げ角の設定はできない。そこで、内ゴテ成形で検証した X 軸セリ込み量や逃げ角、逃げ角に関連した設定項目であるナラシ時間を除き、代わりに成形機正面に向かってヘッドセンターを左右に移動させる“センター位置”を制御因子として追加した。表 2 に示した制御因子を L27 直交表に割り付け、27 種の成形条件でそれぞれ 8 個ずつ成形を行った。1 回の成形で陶土は 670g 使用し、成形直後の成形体重量は約 590g であった。また、ヘッド温度は 110℃に設定した。使用した石膏型は 60 個であり成形後 28℃に調温した室内で自然乾燥した。乾燥後脱型を行い縁部の削り仕上げを行った。なお、乾燥時に 2 個の試料が破損した。得られた 27(種)×8(個)-2(個)=214(個)の成形体は内ゴテ成形体と同様に締め焼きを 0.3m<sup>3</sup> 強制対流式ガス炉で 1300℃、10 時間の還元焼成で行った。焼成は 5 回に分けて実施し、炉内 12 か所で測定したリファサーモ指示温度は 1296～1289℃であった。

得られた焼成体の重量、底落(高台最下部から裏面皿中央部までの距離をディプスゲージで計測後、焼成後の高台高さ 4.5mm から除算したのち突き上げ量を足した値)、突き上げ(ディプスゲージを裏面皿中央に当てた時の値)、高台成形性(内傷、外傷)、裏面(ヘッド面)の表面状態(粗さ、ヘッド跡の有無)、縁形状の 8 項目について分散分析を行い各制御因子の影響について確認した。

## 2.3 薄肉成形試験

NC ローラーマシンは一度設定が完了、保存すれば同じ設定を精度よく再現できるため、カム式ローラーマシンでは形状交換時に設定の再現に時間を要する量産が困難な形状でも安定した製品化が可能である。そこで、図 2 に示したボウルのヘッドと型を用い、厚さ 1mm 未満の成形体の成形試験を実施し薄肉成形時に必要な成形条件の検討を行った。

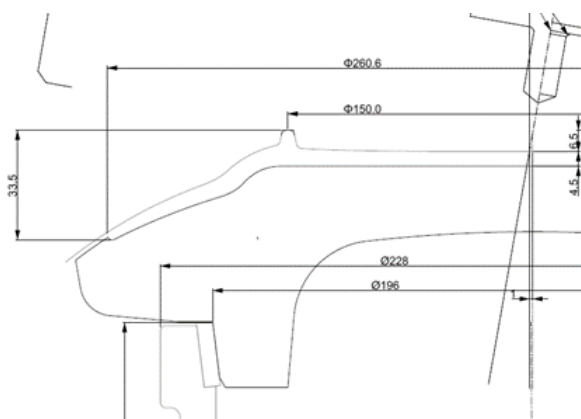


図 4 外ゴテ成形に使用した9インチ皿の型図面。

表 2 外ゴテ成形における各制御因子と水準値

制御因子	水準1	水準2	水準3
セリ込角 / °	2.5	6.5	10.5
ヘッド軸回転数 / r.p.m.	200	240	280
回転差 / r.p.m.	40	80	120
セリ込み時間 / sec.	5.0	6.0	7.0
仕上げ時間 / sec.	0.3	0.6	0.9
センター位置 / mm	-0.5	0.0	0.5

## 2.4 袋物成形試験

図 5 にヤエン付ポット胴体部分とヘッドの図面を示す。

カム式ローラーマシンではスライドカムによってヘッドの前後位置を成形途中に移動させることが可能であるが、動作範囲はスライドカムにより決定され細かなスライド量の制御は困難であり動作範囲も限られる。一方、NC ロー

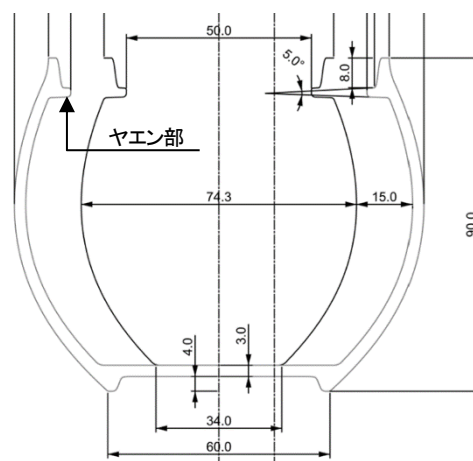


図 5 ヤエン付ポット胴体とヘッド図面。

ラーマシンではヘッドの前後位置を大きく動かせる上に、セリ込角、逃げ角も自在に設定できるために従来成形困難な形状であっても成形が可能となる。ヤエン付袋物としてポットの胴体部分の成形の検討を行った。

図 6-1,2 に重量、直径、底落、ヘッド跡、表面状態、縁切状態について分散分析を行った結果を示す。図中の“○”マーカー及び実線で示した因子は有意水準0.01(危険率1%)で有意であったことを示し、“×”マーカー及び破線で示した因子は有意水準0.05(危険率5%)で有意であったことを示している。なお、マーカーのない制御因子は有意水準0.05で有意でなかったことを示している。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 内ゴテ成形試験結果

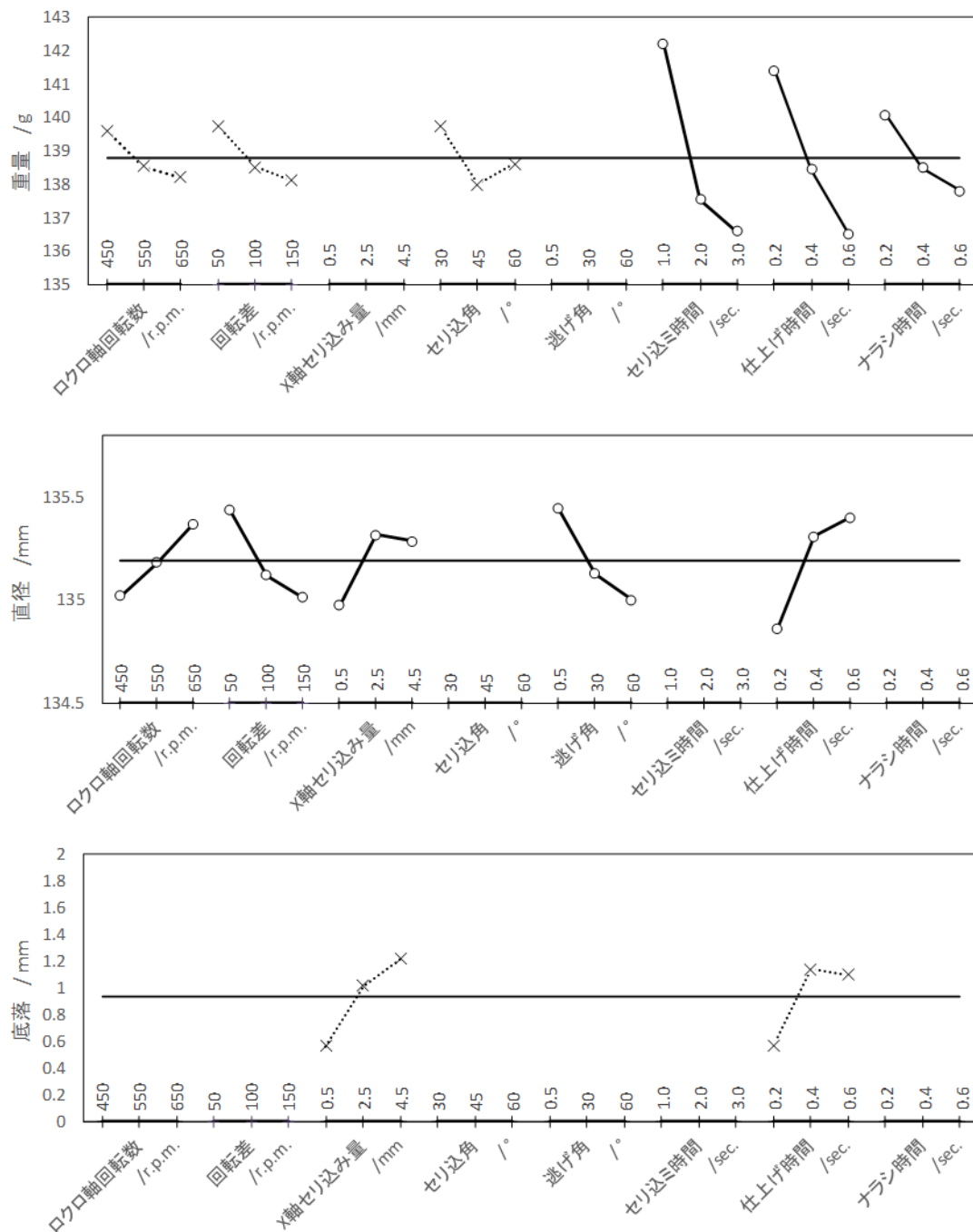


図 6-1 内ゴテ成形分散分析解析結果。(上から順に、重量:直径:底落)

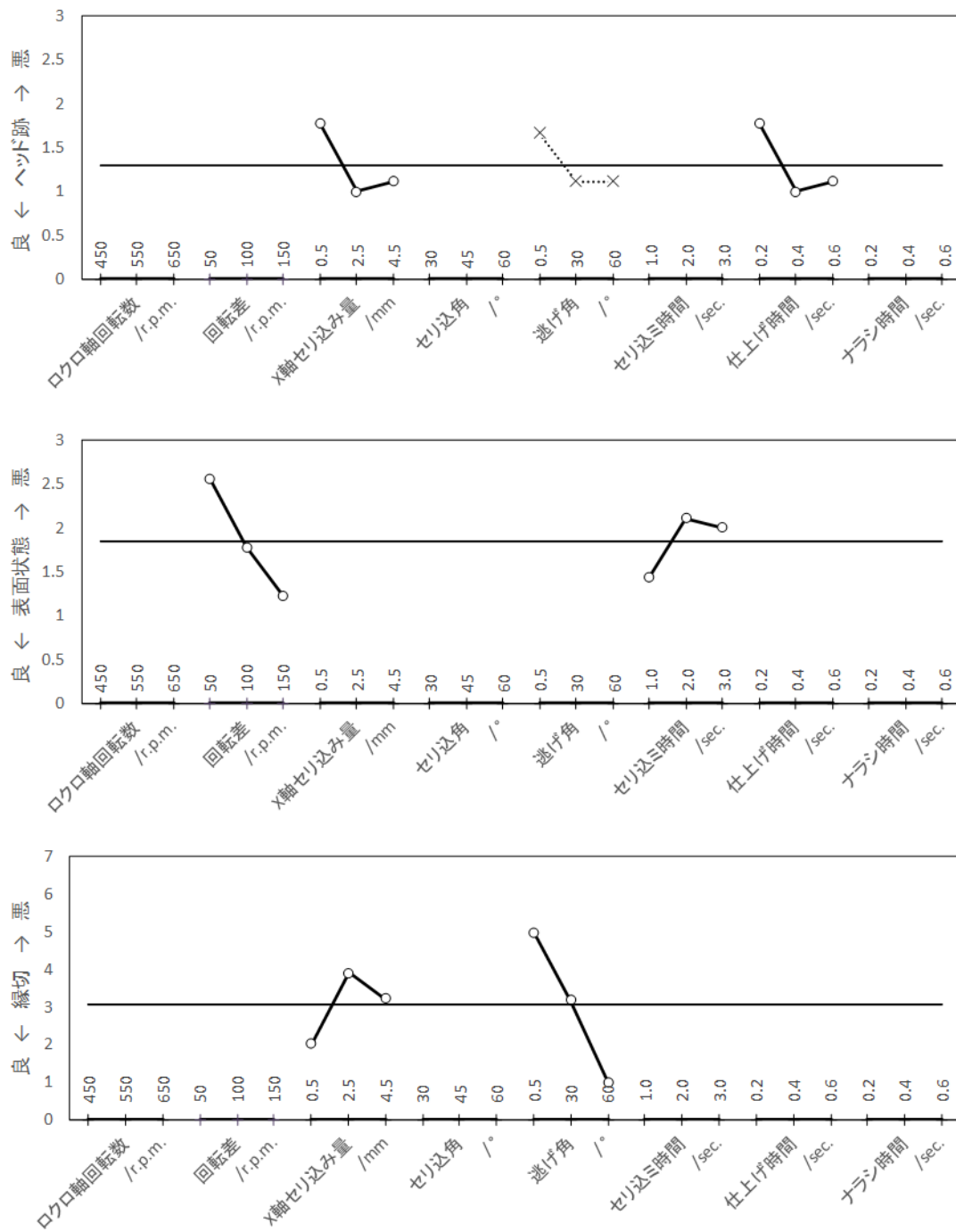


図6-2 内ゴテ成形分散分析解析結果。(上から順に、ヘッド跡:表面状態:縁切)

### 3.1.1 製品重量

製品重量に最も影響を与えたのは、セリ込三時間で寄与率は45%であった。続いて仕上げ時間30%、ナラシ時間6%の寄与率で、これらの因子が有意水準0.01で有意となった。3因子は成形時間であり成形時間が長くなるほど重量が軽くなる結果となった。今回の成形条件では成形終了まで余剰陶土が排出されている状態であったので、

成形時間が長くなるにつれて切り捨てられる陶土量が増え製品重量が軽くなっている。また、成形に寄与する時間の順に寄与率も高くなっている。他に、回転差、ロクロ軸回転数、セリ込角が有意水準0.05で有意であったが寄与率は5%未満であった。回転差は大きくなると陶土を延ばす力が大きくなり、ロクロ軸回転数は速くなることで生地にかかる遠心力が大きくなる。これらにより陶土の移動速度

が速くなり、結果製品重量が軽くなったと考えられる。セリ込角は NC ローラーマシン独特の制御因子である。今回の成形体の胴部の開き角は約 116° であるが、開き角にヘッドを寄せていく角度で製品重量が変化することが明らかとなった。

### 3.1.2 製品直径

製品直径に最も影響を与えたのは、仕上げ時間で寄与率は 28% であった。続いて逃げ角 17%、回転差 16%、X 軸セリ込み量 14%、ロクロ軸回転数 9% の寄与率であり、これらの因子が有意水準 0.01 で有意となった。焼成温度はほぼ一定であることから、製品直径の違いは成形条件による生地密度の違いを示している。つまり、直径が大きいものは生地密度が高く、小さいものは生地密度が低いと考えられる。セリ込み終了、すなわち生地形状が完成してから押さえ時間である仕上げ時間は今回の水準値の範囲では長いほど直径が大きくなっており、仕上げ時間が長いほど生地密度が高くなることを示している。成形終了後のヘッド退避方向である逃げ角に関しては胴部の傾きに対して垂直方向に移動したほうの直径が大きく、胴部に対して垂直に近い角度で退避させると小さくなった。これは後述する縁形状の解析とも関係するが、ヘッドがほぼ垂直に上昇する水準値 0.5° が胴部の開き角度に対して約 26° で退避するのに対して水準値“60°”は胴部の開き角度に対してほぼ垂直方向への退避となり、ヘッドが生地に接触している時間が短くなった影響と考えられる。なお、ヘッドの退避時間であるナラシ時間は今回の検定では有意とならなかったが、ナラシ時間が長くなるほど直径が大きくなる傾向は認められた。回転差については小さいほうの直径が大きく、回転差を小さくしゆっくりと成形したほうが生地密度を高くすることができることが示唆された。ロクロ軸回転数については速いほうの直径が大きく、生地の外側に石膏型がある内ゴテ成形では生地密度が遠心力の影響を受けていることが明らかとなった。また、X 軸セリ込み量に関してはヘッドをほぼ垂直に落とす水準値“0.5mm”が小さくなったので、側面に向けて対してヘッドをスライドさせたほうが生地の締まりが良くなることが示唆された。以上の結果から、仕上げ時間とロクロ軸回転数に関しては製品重量を軽減しながら生地密度を高くす

ることができることが明らかになった。

### 3.1.3 底落

底落到最も影響を与えたのは X 軸セリ込み量であり、寄与率は 17% であった。仕上げ時間が寄与率 16% であり、有意水準 0.05 で有意であった。底落についても製品直径と同様に製品底部の生地の締りが大きく影響し生地の締りが良いほうが小さいと考えられる。しかし、今回有意となった 2 つの制御因子の底落到与える影響は製品直径とは逆のものとなった。X 軸セリ込み量については小さいほうの底落が少ないが、製品直径は小さい。仕上げ時間についても短いほうの底落が小さく、製品直径から推察される生地密度とは逆の結果となっている。ローラーマシンの内ゴテ成形において、陶土直径は高台直径と合わせることが多い。したがって、陶土の移動によってのみ成形される側面と、あらかじめ置かれた陶土が延びていく高台内側では生地の締りが異なると考えられる。今回の結果からは、X 軸セリ込み量が大きくなると側面の生地密度は高くなるが逆に底面の生地密度は低下し、仕上げ時間に関しても長くなると側面の生地密度は高くなるが、新たな陶土が供給されず延びていくだけで底面の生地密度が低くなると推察された。筆者は以前に強化磁器のカム式ローラーマシン成形の解析において底落到影響を最も与える因子は回転差であることを報告した<sup>2)</sup>。この時に、生地の気孔率の違いから回転差が大きいと生地全体の密度が低下し、特にヘッド側の生地密度が低下するために上面下面の焼成収縮の違いにより底落が大きくなることを明らかにしている。一方で、今回の試験では回転差は有意とならなかった。今回、最も影響の大きかった、X 軸セリ込み量に相当するものをカム式ローラーマシンによって実現するためにはスライドカムを利用する必要があるが、前回の解析では因子として取り上げておらず、スライドカムを利用していなかったために、任意の X 軸セリ込み量は 0 mm であり、今回の底落の小さかった 0.5 mm に近い。従って、ロクロとヘッドの回転軸がほぼ同じ場合は回転差の影響が強く表れるが、セリ込みによりロクロとヘッドの回転軸がずれていくことで、底部においては回転差の影響が小さくなることが推察された。



### 3.1.4 ヘッド跡

成形終了時にヘッドが生地から離れた時の痕跡をヘッド跡として評価した。成形が十分に進まない状態でヘッドが生地から離れると、離れる瞬間にヘッドが触れていた部分と触れる直前だった部分に成形体の厚みの差が生じ段差となって成形体に現れる。ヘッド跡は製品の見た目を損なうだけでなく、ヘッド跡の部分で厚さが変わることから製品歪の原因となる。ヘッド跡がはっきりを現れた例を成形条件とともに図7に示す。写真では中央から縁部まではっきりとした段差が生じているが、軽微な場合は底中央付近にのみ現れる。今回ははっきりとわかるものを“3”、わずかに認められるものを“2”、認められないものを“1”として目視により評価し、分析をおこなった。ヘッド跡に強く影響を与えたのは仕上げ時間とセリ込み時間が有意水準0.01で有意、寄与率は共に24%であった。逃げ角は寄与率13%であり有意水準0.05で有意であった。仕上げ時間が短い場合、X軸セリ込み量は小さい場合にヘッド跡が残りやすいという結果になった。製品直径から推察された生地の締りにおいて、この条件は生地が十分に締まっていないことを示唆しており、十分に成形が進まないままヘッドが離れているためヘッドの接触の前後で生地の厚みの差が大きくなりヘッド跡が残りやすくなっていることが明らかとなった。一方、逃げ角については生地の締りの良いはずである0.5°が、ヘッド跡がつきやすいという結果になっている。ヘッド跡のつきやすい底面においては直径に大きな影響を与える胴部ではヘッドがほぼ垂直に上

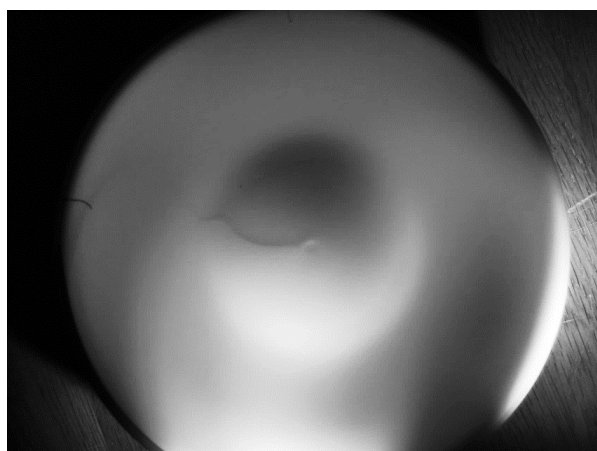


図7 ヘッド跡発生例。(ロクロ軸回転数 450r.p.m.; 回転差 50r.p.m.; X軸セリ込み量 0.5mm; セリ込角 30°; 逃げ角 0.5°; セリ込み時間 1s; 仕上げ時間 0.2s; ナラシ時間 0.2s)

昇する水準値0.5°は胴部の角度に対して約26°で退避するのに対して、水平な底面では垂直方向のヘッド退避となることから、底面にヘッドが接触している時間が短くなりヘッド跡が残りやすくなったと考えられる。

### 3.1.5 表面状態

ヘッド面に現れる皺を表面状態として評価した。皺はヘッドと接触している時間が長いうえに陶土の動きが少ない中心部付近に発生しやすい。皺の例を図8に示す。皺が明らかに認められるものを“3”、わずかに認められるものを“2”、皺がなく滑らかな表面となっているものを“1”として目視により評価し、分析を行った。表面状態に最も影響を与えたのは回転差で寄与率は59%であった。回転差が小さくなると皺が発生しやすくなる傾向が認められた。次いでセリ込み時間が寄与率16%であり、セリ込み時間が1秒のとき表面状態が滑らかとなった。これら2因子は有意水準0.01で有意であった。これらの結果から、できるだけ陶土を速く動かす条件で表面が滑らかに仕上がるのが明らかとなった。

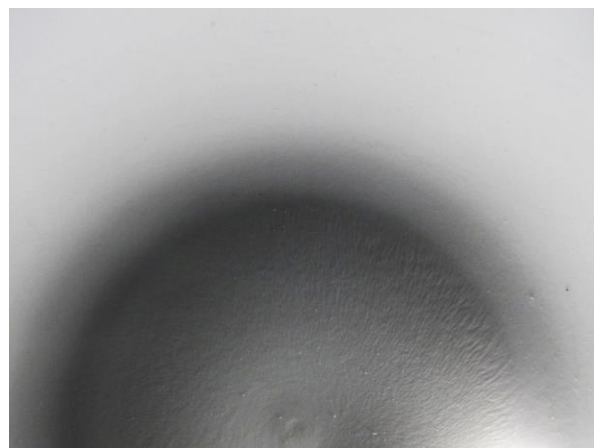


図8 ヘッド成形面皺発生例。(ロクロ軸回転数 650r.p.m.; 回転差 50r.p.m.; X軸セリ込み量 0.5mm; セリ込角 30°; 逃げ角 30°; セリ込み時間 2s; 仕上げ時間 0.6s; ナラシ時間 0.4s)

### 3.1.6 縁形状

今回の27種の成形条件においてヘッド位置、土切の入切のタイミングはすべて同じ条件で成形を実施しているが、縁形状に明らかな違いが現れたので分散分析を行った。図9に縁状態の違いを示す。図9上の写真は正常に成形が終了したもので、図2に示した図面の通り陶土が

排出されるヘッドと石膏型の隙間の部分で成形体の縁切が行われている。一方、図9下の写真は本来ヘッドの曲面に沿って成形されるべき部分まで縁切が行われている。そこで、全周にわたり正常な成形ができた状態を“1”、わずかに本来の曲面に縁切が触れている状態を“2”、明らかに曲面に縁切が認められる状態を“3”、90°にわたり曲面に縁切が認められる状態を“4”、180°を“5”、270°を“6”、全周にわたり曲面に縁切が認められる状態を“7”として目視により縁形状を評価し、分散分析を行った。

縁切に最も影響を与えたのは逃げ角であり寄与率は52%であった。次いでX軸セリ込み量が11%であり有意水準0.01で有意であった。逃げ角60°の9成形条件では全く縁形状の異常は見られなかった。一方で、逃げ角0.5°では1成形条件の成形個数である7個すべてが正常となった成形条件は無く、ヘッドの逃げ角によって縁形



図9 縁形状の違いの様子。  
(上:正常、下:異常(土切が内側Rをつぶしている))

状が影響を受けることが明らかとなった。製品直径のところでも記述した通り逃げ角0.5°の場合、胴部の開き角に対してヘッドが約26°で退避するが、退避の際にも縁の成形が継続し本来の仕上げ位置から縁部曲面形状が上部に移動したと推察された。そこで、正常な状態である評価“1”の試料と全周にわたって曲面に縁切が確認された評価“7”の試料の縁部の厚さを計測したところ、評価1の試料で2.5~2.6mm、評価7の試料で2.7~2.8mmと若干の厚さの増加が認められ、成形体内側のラインが変化していることが確認できた。X軸セリ込み量に関しては0.5mmのときに縁形状が良好になることが判った。

### 3.1.7 内ゴテ成形まとめ

内ゴテ成形における各制御因子が成形体に与える傾向を表3にまとめた。仕上げ時間が最も多くの項目に影響を与えることが判る。また、NCローラーマシン固有の成形条件である逃げ角も様々な項目で影響を与えることが明らかとなった。

## 3.2 外ゴテ成形試験結果

図10に乾燥重量、底落、突き上げ、高台えぐれ、高台傷、縁折れ、表面状態、ヘッド跡について分散分析を行った結果を示す。図中の“○”マーカー及び実線で示した因子は有意水準0.01(危険率1%)で有意であったことを示し、“×”マーカー及び破線で示した因子は有意水準0.05(危険率5%)で有意であったことを示している。また、マーカーのない制御因子は有意水準0.05で有意でなかったことを示している。

表3 内ゴテ成形における各制御因子が成形体に与える傾向

因子	ロクロ軸回転数		回転差		X軸セリ込み量		セリ込角		逃げ角		セリ込み時間		仕上げ時間		ナラン時間	
	遅	速	小	大	小	大	小	大	小	大	短	長	短	長	短	長
重量	大	小	大	小	-	-	大	小	-	-	大	小	大	小	大	小
直径	小	大	大	小	-	-	-	-	大	小	-	-	小	大	-	-
底落	-	-	-	-	小	大	-	-	-	-	-	-	小	大	-	-
ヘッド跡	-	-	悪	良	-	-	-	-	悪	良	悪	良	悪	良	-	-
表面状態	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	良	悪	良	悪	-	-
縁切	-	-	-	-	良	悪	-	-	悪	良	-	-	-	-	-	-



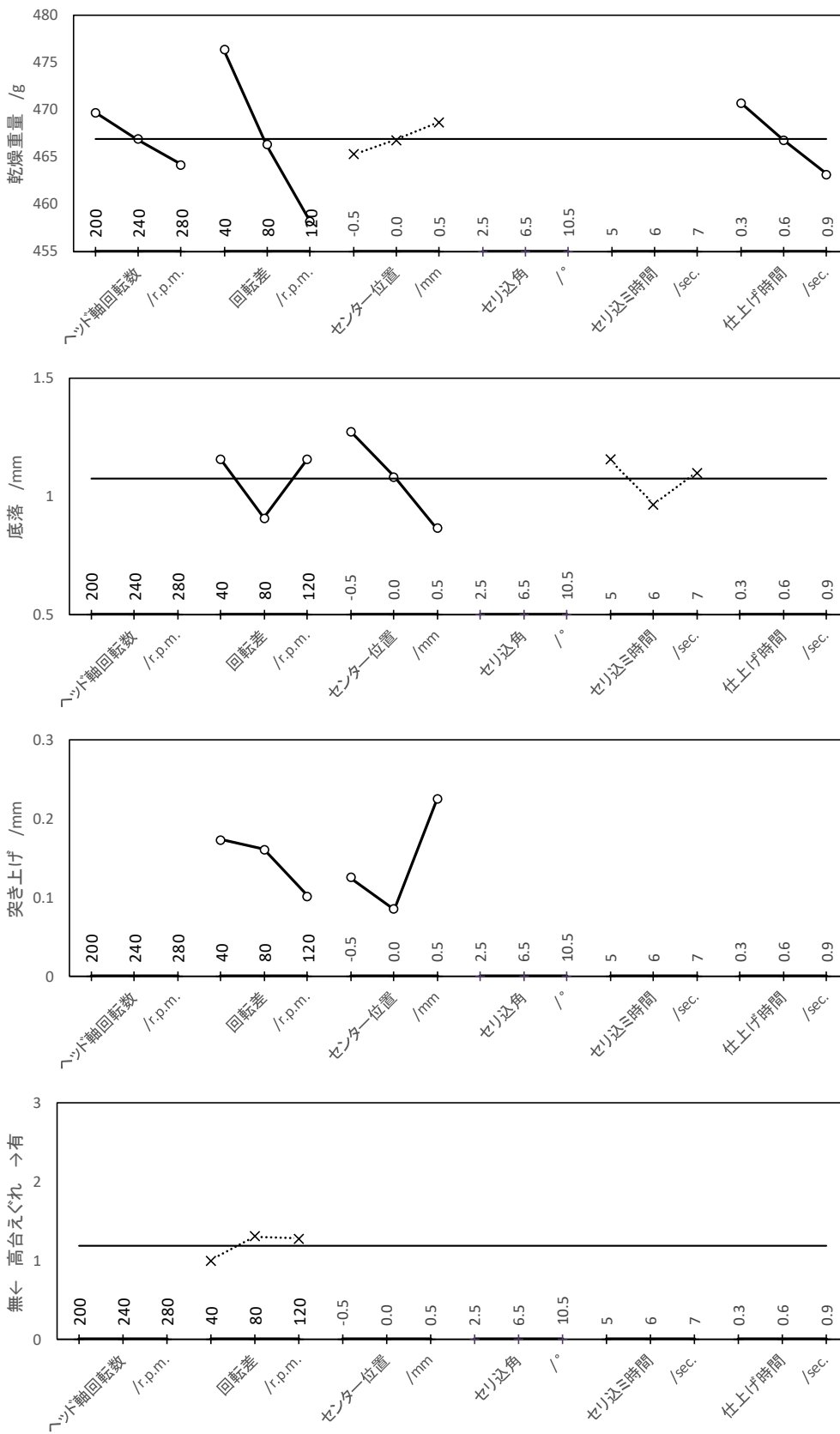


図10-1 外ゴテ成形分散分析解析結果。(上から順に、乾燥重量:底落:突き上げ:高台えぐれ)

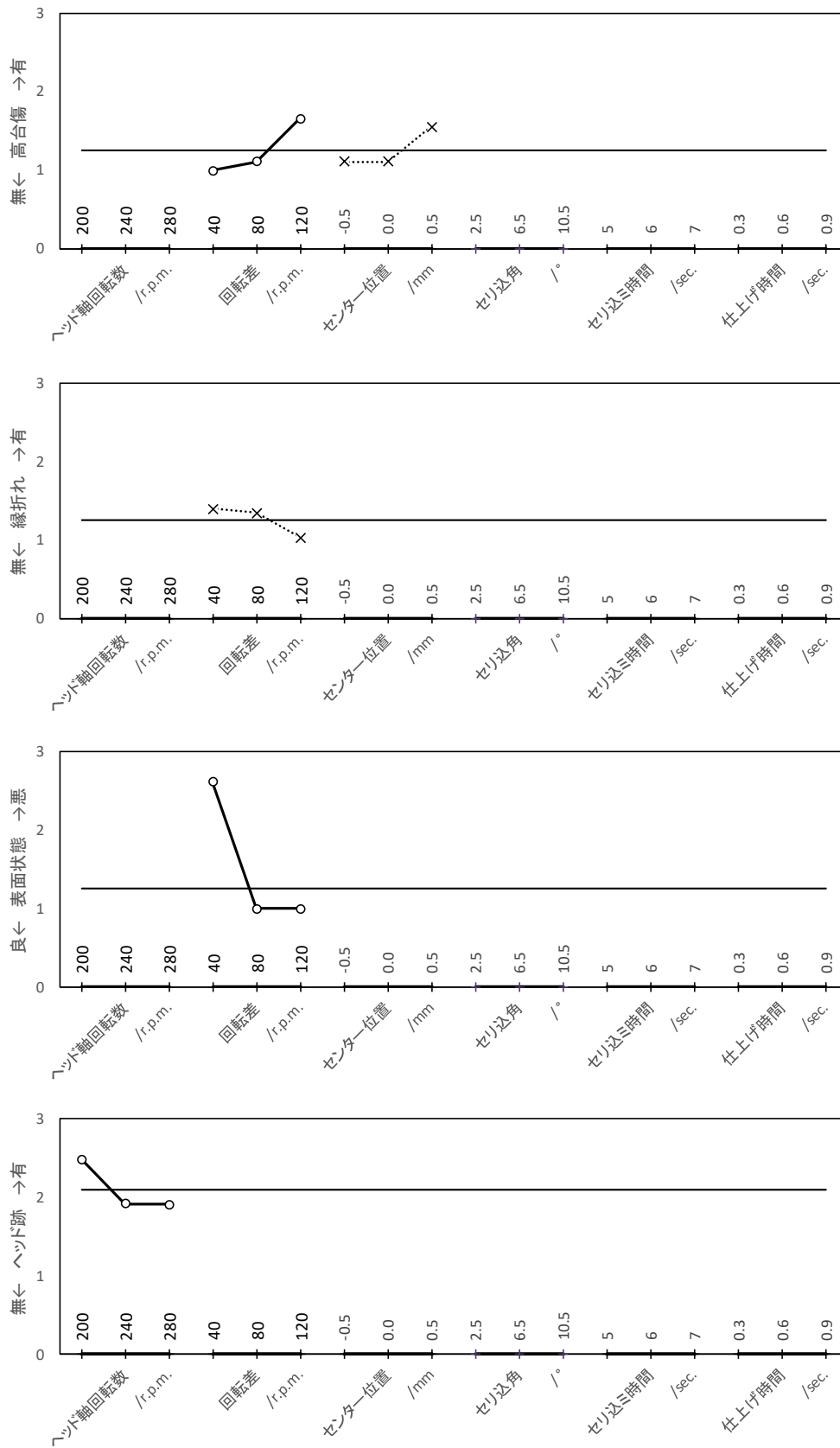


図 10-2 外ゴテ成形分散分析解析結果。(上から順に、高台傷:縁折れ:表面状態:ヘッド跡)

### 3.2.1 乾燥重量

外ゴテ成形試験では重量を製品重量ではなく、乾燥重量で評価した。乾燥重量に最も影響を与えたのは回転差であり寄与率は71%であった。続いて仕上げ時間が12%、ヘッド回転数は6%の寄与率で、これらの因子が有意水準0.01で有意であった。センター位置は寄与率2%で、有意水準0.05で有意であった。回転差、仕上げ時間、ヘッド回転数(内ゴテ試験ではロクロ軸回転数)の水準値と重量の関係は内ゴテ成形と同様の傾向であった。一方、内ゴテ成形試験で寄与率の最も高かったセリ込み時間は外ゴテ成形の試験では有意となっていないが、内ゴテ成形のセリ込み時間の水準値が1, 2, 3秒と水準間の変化率が高かったのに対し、外ゴテ成形は5, 6, 7秒と変化率が小さいために水準間での違いが表れにくくなったためと考えられる。内ゴテ成形では因子として取り上げていなかったセンター位置に関しては、左にずらしたときに軽くなり右にずらしたときに重くなる傾向が現れた。これは以前に示した左のときに重くなるという報告と逆の結果になっているが、前回の報告書では水準値のプラスマイナスと左右の関係を取り違えているものでありここで修正する<sup>1)</sup>。なお、水準値と結果の関係は合致している。

### 3.2.2 底落

底落到最も影響を与えたのはセンター位置であり、寄与率38%であった。続いて回転差が寄与率18%でここまでが有意水準0.01で有意であった。セリ込み時間は寄与率7%、有意水準0.05で有意であった。センター位置は右にずらしたときに底落が小さくなり、左で大きくなった。回転差は水準値の中央である80r.p.m.のときに底落が最も小さくなり、回転差が小さいときと大きいときでは底落が大きくなった。以前の報告では回転差の水準値30, 60, 90r.p.m.で試験を行い90r.p.m.が最も底落が小さくなったが、回転差が大きすぎても底落が大きくなることが示唆された。セリ込み時間に関しては中央値の6秒のときに最も底落が小さい結果となった。

### 3.2.3 突き上げ

プレートにおいて中央部の突き上げが目立つと見込み部分が波打ち平滑さを失うために小さいほうが良い。突き

上げに最も影響を与えたのはセンター位置であり、寄与率は49%であった。次いで回転差が寄与率13%で、いずれも有意水準0.01で有意であった。突き上げの傾向は底落と相反する関係になっており底落の小さい条件が、突き上げが大きくなる傾向があった。

### 3.2.4 高台えぐれ

成形条件によって図11の写真に示すような溝が高台内側に発生したため、これを高台えぐれとして評価した。高台えぐれは22個の試料で発生し発生率は10%であった。はっきりと溝が認められるものを“3”、わずかに認められるものを“2”、認められないものを“1”として目視により評価し、分析を行った。高台えぐれで有意(有意水準0.05)となったのは回転差で寄与率は16%であり、回転差40r.p.m.の条件では全く発生しなかった。有意な因子が1つであり寄与率も低かったため分散分析によって原因を明らかにすることは難しいと考え、高台えぐれの発生した成形の様子を観察した。高台はヘッドにある溝部で成形されるが、高台えぐれが発生したときはヘッド溝の外側から高台の成形が始まり高台内側へ巻き込むように陶土が移動していることが判った。この時、陶土が一瞬石膏型から浮き上がり不安定な状態になっており、石膏型で形作られる製品上面に図12で示すような傷が発生していた。また、成形重量も正常なもの比べて3~4%程度軽くなっていることが確認できた。高台えぐれに関しては過去の成形で

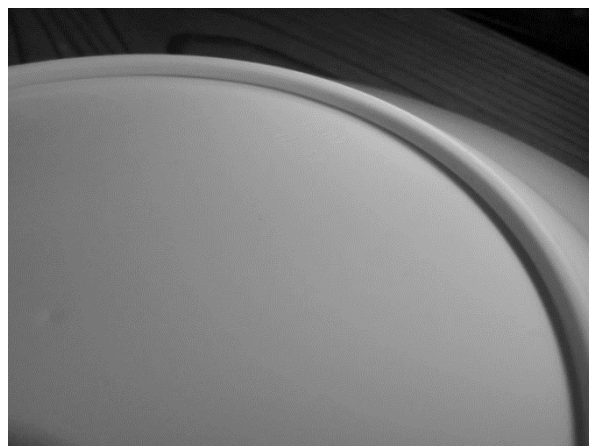


図11 高台えぐれ発生例(高台内側根本に溝が確認できる)  
 (ヘッド軸回転数200r.p.m.;回転差80r.p.m.;  
 センター位置0.5mm;セリ込角2.5°;  
 セリ込み時間5s;仕上げ時間0.9s)

は発生したことがなく原因解明のため分散分析を行って見たが、今回の実験条件では高台えぐれの発生しやすい成形条件を明確にすることはできなかった。上記観察結果を踏まえ、水準値を見直して再試験を行う必要がある。

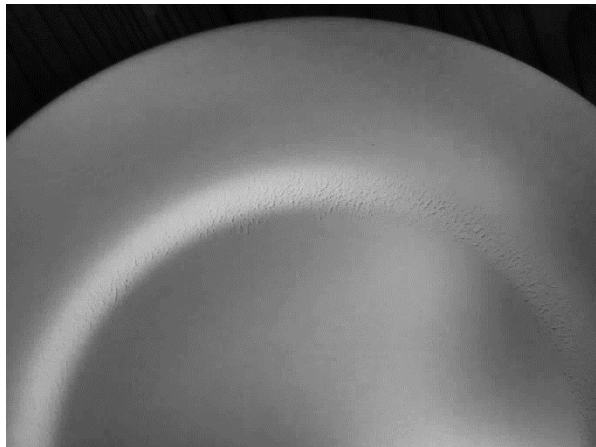


図12 高台えぐれのある試料で確認される型面側の成形傷。

### 3.2.5 高台傷

高台に発生する細かいひび割れを高台傷として評価した。高台傷の様子を図13に示す。高台傷は深くなると乾燥時に生地割れの原因となり、今回の試験でも高台傷が原因で2個の成形体で乾燥割れが生じた。高台傷に最も影響を与えたのは回転差で、有意水準0.01で有意、寄与率は28%であった。次いでセンター位置で、有意水準0.05で有意、寄与率13%となった。回転差は大きいと高台傷は発生しやすい。高台部分はとがった形状から成形時に乾燥が進みやすく、陶土水分率の低下により可塑性が低下したところで無理に陶土を延ばそうとすることでひび割れ

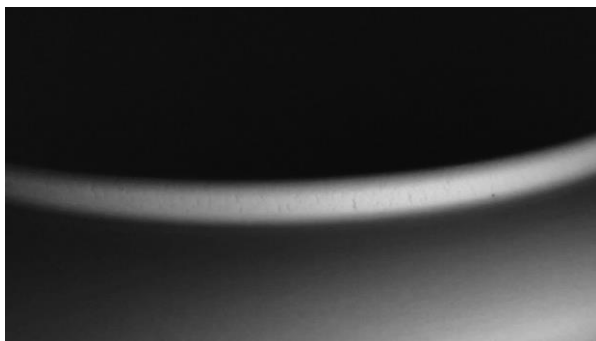


図13 高台傷発生例。(下記の条件で8個中2個乾燥割れ)  
(ヘッド軸回転数 200r.p.m.; 回転差 120r.p.m.;  
センター位置 0.5mm; セリ込角 6.5° ;  
セリ込時間 7s; 仕上げ時間 0.9s)

が発生し高台傷となることが明らかとなった。センター位置に関しては右にシフトしたときに傷が発生しやすくなった。この条件では乾燥重量が高くなることから判るように陶土の移動が遅くなるので、高台部分の陶土も動きにくく高台部の乾燥が進みやすくなった影響と考えられる。なお、今回は制御因子として取り上げなかったが生地表面の乾燥に関してはヘッド温度の影響が大きいため、高台傷が発生した場合は最初にヘッド温度に注意する必要がある。

### 3.2.6 縁折れ

リム部に現れた段差を図14に示す。このような段差はリム部の変形原因となる。段差の発生原因は成形時の陶土の伸びむらであり、皿の縁先端を形成する型の段差に陶土の到達するタイミングが大きすぎた時に発生する<sup>1)</sup>。縁折れについても、はっきりと認められるものを“3”、わずかに認められるものを“2”、認められないものを“1”として目視により評価し、分析を行った。分散分析の結果、縁折れで有意(有意水準 0.05)となったのは回転差のみであり、寄与率は 23%であった。回転差が 120r.p.m.の場合は縁折れの発生は 68 個中 1 個であり、少なくとも回転差が大きいときには縁折れが発生しにくいことが判った。

### 3.2.7 表面状態

図14に示した縁折れの写真にはヘッド側で成形した表

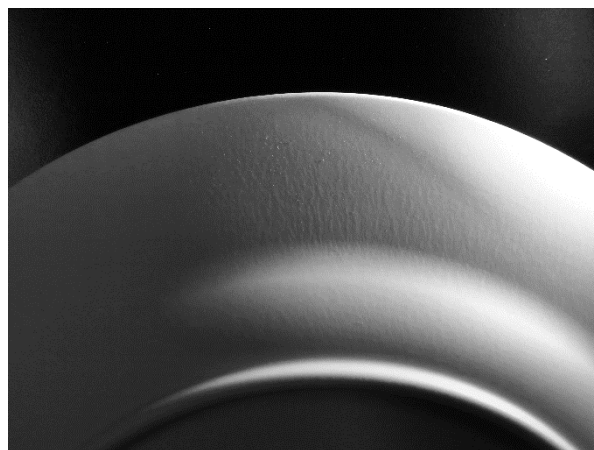


図14 縁折れとヘッド成形面の荒れ発生例。  
(ヘッド軸回転数 280r.p.m.; 回転差 40r.p.m.;  
センター位置 0.0mm; セリ込角 10.5° ;  
セリ込時間 7s; 仕上げ時間 0.9s)

面に皺が確認できる。皺が明らかに認められるものを“3”、わずかに認められるものを“2”、皺がなく滑らかな表面となっているものを“1”として目視により評価し、分析を行った。表面状態に有意(有意水準0.01)な影響を与えたのは回転差のみで寄与率は95%であった。回転差が最も小さい水準値で皺が発生することが認められ、内ゴテ成形と同様の結果となった。一方で、内ゴテ成形では回転差が大きくなるに従い皺が徐々に減少したが、外ゴテ成形においては80r.p.m.、120r.p.m.では滑らかな表面となっており、直径の大きい外ゴテ成形では角速度が大きくなるために極端に回転差が小さい場合以外では皺が発生しにくいことが明らかとなった。

### 3.2.8 ヘッド跡

内ゴテ成形と同様に成形終了時にヘッドが生地から離れた時の痕跡をヘッド跡として評価した。外ゴテ成形におけるヘッド跡の例を成形条件とともに図15に示す。外ゴテ成形におけるヘッド跡もはっきりとわかるものを“3”、わずかに認められるものを“2”、認められないものを“1”として目視により評価し、分析をおこなった。外ゴテ成形におけるヘッド跡に有意な影響を与えたのは、ヘッド回転数のみで寄与率は28%であった。内ゴテ成形で有意な制御因子であったセリ込み時間や仕上げ時間は有意となっていないが、外ゴテ成形試験における成形時間に関する因子の水準値が内ゴテ成形に比べ長くなっていることで、成形が不十分なままヘッドが生地から離れることがほとんどなかったことが原因と考えられる。段差も内ゴテ成形で

見られたような極端なものが発生することはなかった。ヘッド回転数が低い場合にヘッド跡が発生しやすいという結果になっているが、ヘッド回転数が低い場合は生地の乾燥重量も重くなっていることから、成形完了までに時間を要することが原因と考えられる。しかしながら、乾燥重量により大きな影響を与えた回転差や仕上げ時間はヘッド跡に関しては有意となっておらず条件を変えて追試を行う必要がある。

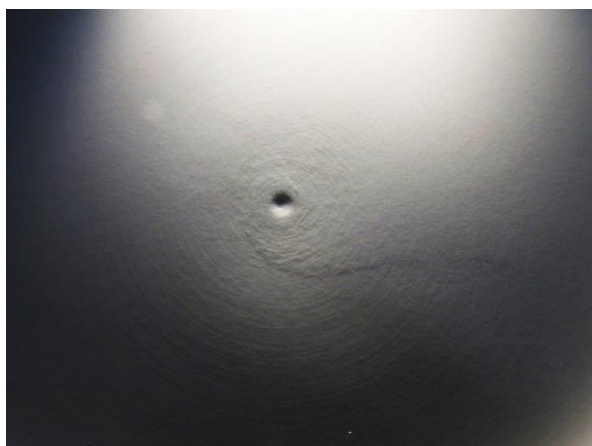


図15 外ゴテ成形におけるヘッド跡の発生例  
(ヘッド軸回転数280r.p.m.;回転差40r.p.m.;  
センター位置0.0mm;セリ込角10.5°;  
セリ込み時間7s;仕上げ時間0.9s).

### 3.2.9 外ゴテ成形まとめ

外ゴテ成形における各制御因子が成形体に与える傾向を表4にまとめた。回転差やセンター位置が評価を行った多くの項目に影響を与えることが明らかとなった。

表4 外ゴテ成形における各制御因子が成形体に与える傾向

因子	ヘッド軸回転数		回転差		センター位置		セリ込角		セリ込み時間		仕上げ時間	
	遅	速	小	大	左	右	小	大	短	長	短	長
乾燥重量	大	小	大	小	小	大	-	-	-	-	大	小
底落	-	-	中間で少		大	少	-	-	少	大	-	-
突き上げ	-	-	大	少	少	大	-	-	-	-	-	-
高台ぐれ	-	-	少	多	-	-	-	-	-	-	-	-
高台傷	-	-	少	多	少	多	-	-	-	-	-	-
縁折	-	-	多	少	-	-	-	-	-	-	-	-
ヘッド跡	有	無	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
表面状態	-	-	悪	良	-	-	-	-	-	-	-	-



### 3.3 薄肉成形試験の結果

図2に示した碗の型及びヘッドを用いて厚さ1mm未満の試作を実施した。設計時の位置合わせである内ゴテ成形試験時に比較して、ヘッド位置の調整はセンターダブリを0.5mmから-2.37mmに変更しヘッドを型に近づけるとともに、陶土の逃げを確保するために底厚を1.88mmから2.33mmへ変更した。薄い生地となるために、生地の締まりを優先し成形条件を設定した。内ゴテ成形の分析の結果から回転差は50r.p.m.とし、ロクロ軸回転数は600r.p.m.、ヘッド軸回転数550r.p.m.とした。また、生地厚さが薄いことでヘッド跡の影響を強く受けることが予想されたため、ヘッド跡が発生しにくい成形条件も優先順位が高いと考え、セリ込み時間は2s、仕上げ時間は0.4s、逃げ角は30°とした。薄く成形時の脱水が速いことが予想されたためヘッド温度は低めの100°Cで試作を開始したが、縁部に皺が生じた。本製品は玉縁であるために1mm未満の胴部が成形されたのちに玉縁が成形されるが、ヘッドと生地の滑りが悪いとヘッド側から石膏型側に陶土が回り込みながら縁が成形されるようになり回り込みの跡が皺となっていた。そこで、ヘッド温度を105°Cまで上げたところ皺



図16 薄造り試験結果(上:施釉体厚さ,下:透けの様子)

が解消し良好な成形体を得ることができ、乾燥割れ等も発生しなかった。焼成後の試作品を図16に示す。焼成後の施釉体で玉縁下の厚みが0.99mm、無釉では0.80mmの製品を破損なく得ることができた。

### 3.4 袋物の成形試験

図5に示したポット胴体の型ヘッドを用いてヤエン付き袋物の成形試験を行った。ヘッドのX軸セリ込み量は17.5mmでセリ込角は30°とした。ヘッドの逃げ角はヘッドの退避時にヤエン部に触れることのないように88°とした。一般的な形状のローラーマシン成形ではヘッド軸の回転数はロクロ軸よりも遅くし石膏形状の陶土をヘッドで引き延ばしていくが、ヤエン付きの形状を成形した場合ヤエン部の充填不足や切れ等の成形不良が発生した。ヤエン部は遠心力に逆らった方向への成形であり、陶土を引き延ばす成形条件では陶土を、ヤエン部を形成するヘッドの溝に十分に押し込むことができないことが明らかとなった。そこで、ヘッド軸の回転数をロクロ軸よりも速くし、陶土を押し延ばす条件で成形を行った。その結果、ヘッド軸回転数360r.p.m.、ロクロ軸回転数300r.p.m.の条件でヤエン切れもなく良好な成形体を得ることができた。成形体の写真を図17に示す。

ヘッドの溝によって形成されるヤエン部の成形はヘッド軸とロクロ軸の回転数を通常とは逆の関係にすることで良好な結果を得られたことから、同じくヘッドの溝によって形成される外ゴテ成形における高台の成形性もヘッド軸の回転数をロクロ軸よりも速くしたほうが良好になる可能性があると考え、ロクロ軸回転数300r.p.m.に対してヘッド軸

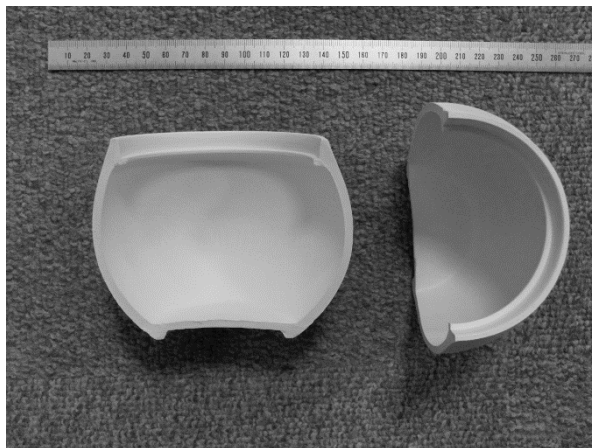


図17 ヤエン付き成形体の断面。

回転数を 250r.p.m.(回転差(ロクロ軸-ヘッド軸)50r.p.m.、一般的な条件)、350r.p.m.(回転差-50r.p.m.)、400r.p.m.(回転差-100r.p.m.)、450r.p.m.(回転差-150r.p.m.)と変化させ成形試験を行った。回転差と生地乾燥重量の関係を図 18 に示す。一般的なヘッド軸回転数がロクロ軸回転数よりも遅い場合と比較してヘッド軸回転数を高くした場合、生地重量は増加する傾向が確認でき、陶土を押し延ばす形の成形により生地の締まりはよくなることが明らかとなった。しかしその一方で、成形時の陶土の伸びが不安定であり、重量がばらつき安定した成形が難しくなることも確認された。また、図 13 で示したような高台傷は発生しなかったが、回転差-150r.p.m.では高台の外側の付け根部分に割れが発生した。よって、ヘッド軸の回転数をロクロ軸より速くする条件は、一般的な外ゴテ成形においてはメリットよりもデメリットのほうが多いと考えられる。

参考文献

- 1) 蒲地伸明, 佐賀県窯業技術センター平成 11 年度業務報告書, 25-32(2000).
- 2) 蒲地伸明, 『強化磁器食器の衝撃強さ評価方法と製品強さ向上に関する研究』佐賀大学工学系研究科(エネルギー物質科学専攻)博士論文, 85-102(2010).

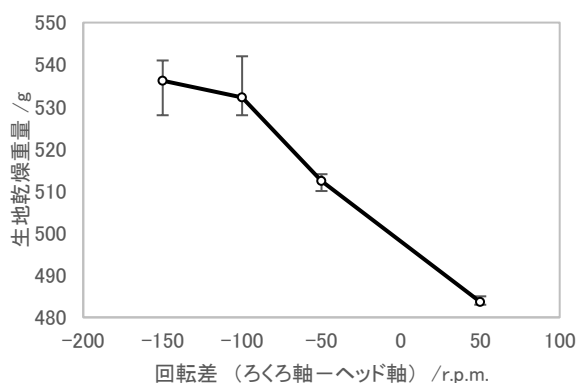


図 18 9 インチプレート成形における回転差と生地乾燥重量の関係 (プロット上の誤差範囲は最大、最小値)

4. まとめ

NC ローラーマシンの内ゴテ成形、外ゴテ成形それぞれの成形因子が製品性状に与える影響について実験計画法を用い確認を行った。その結果、NC ローラーマシン特有の成形因子が製品性状に大きな影響を与えることがあることを確認できた。また、解析結果をもとに薄肉製品や、ヤエン付き袋物の成形試験を行い必要な成形条件を明らかにした。ただし、今回の水準値では解析できなかった項目もあり、より詳細な成形条件については今後、改めて解析を進めていく予定である。