

Research on the Innovation of the Ceramic Design Process Utilizing Digital Tools

副島, 潔
Saga Ceramics Research Laboratory

<https://doi.org/10.15017/17125>

出版情報：九州大学, 2009, 博士（芸術工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：



第5章

CNC切削による型製作法の変革に関する研究

第5章 CNC切削による型製作法の変革に関する研究

5-1.はじめに～型について

陶磁器は現在でも、一般的には『手作り』のイメージが強いが、一部の高級品を除いて全てのプロセスが手作りされている訳ではない。しかし他分野の製品と同様に、ある程度以上の量産を行う場合には相応の手段に頼ることになる。

陶磁器、特に磁器は元来高級品であり、王侯貴族のために作られるもので、その製造コストは二の次であった。本来高級品であった陶磁器が一般庶民に使われるようになるのは比較的近代になってからのことである。産業革命が進み、新たな資産を獲得した中間層が現れると、生活レベルが上がり、王侯貴族の生活スタイルに近づけようとするようになる。ここでは王侯貴族レベルそのままのものではなく、「それらしく」見える品が求められるようになる。新たな顧客層が形成した市場は製品を安く大量に要求するようになったため、それまで小規模に作られていた製品は、要望に応じて安く大量に生産する必要に迫られる。

同じものを大量に作ろうとすると、雛形を用いれば作りやすい。こうして「型」が使用されるようになる。製品の素材によって型材料も異なる。プラスチックは金属製の「金型」で成型される。金属の成型では、鑄造の場合は「砂型」であり、プレス成型の場合はやはり「金型」が使用される²³。

陶磁器を形作るためには、成形を行わなければならない。まず人間の「手」によって成形が行われた。何らかの形を作るための道具を「型」と考えると考えるならば、最初は「手」がその役割を果たした。人間が「木の枝」や「石」など様々な道具を使いこなすようになると、陶磁器にも「手」ではない道具によって、成形が行われるようになる。

陶磁器では、まず木型、あるいは素焼型が利用された。粘土を型で成型するためには、水を含んで柔らかい状態の粘土から、ある程度水分を吸収して固くしてくれる材料の型が望ましい。板状に伸ばした粘土を型に押さえつけ、必要な形と大きさに切って成型する。人形などでは、成型されたパーツを接着して全体を完成させることになる。木型や素焼き型は通常片面のみであり、例えば皿の場合は、どちらかの面しか型に依存した成型ができないことになる。拳大の小さなものでは粘土塊を中に入れて両側から押し付ける「押し型成型」があったが、それより大きなものについては液体状の粘土を使用する鑄込み成型法によって可能となる。

石膏を陶磁器製造用の型として利用する方法は、16世紀にヨーロッパで始まったと言

われている²⁴。石膏は、陶磁器の型材料としては現在に至るまで最高の素材である。比較的安価であり、均一な素材で吸水性が高い。雄雌の反転コピーにも昔から多用され、対象物の表面性状を正確かつ精密に写し取ることができる。原料は天然鉱石の状態で採掘され、微粉際して仮焼することで陶磁器用の型材料である焼石膏となる²⁵。

日本へ石膏型が伝来したのは、明治初期である²⁶。これは排泥鑄込み法であった。型内の空洞に空気圧で液状の陶土「泥漿（でいしょう）」を押し込む、「圧力鑄込み法」が有田焼業界に導入されたのは1970年代である。

現在では、素地の成形は、作家の作品や手作りを銘打った場合はロクロや手びねりで行われるが、数百個以上の量産になる場合や、手作業ではコストに合わない場合、そもそも手作業では製作が不可能な場合などに、型が利用される。

5-2.陶磁器の量産で使われる成型法

陶磁器の量産には、多くの方法があり、いずれも石膏型を使ったものである。特に肥前地区で行われている量産法は、排泥鑄込み、圧力鑄込み、機械ロクロ成型、ローラーマシン成型の4つの方法である。まず各々の方法について、順に概略を紹介する²⁷。

5-2-1.排泥鑄込み法

花瓶など袋状のもので、上下2分割では一体成型が不可能な場合に用いる。中が空洞になった型を用意する。最低2分割で、多くは4分割以上となる。原型は外形のみ再現し、中は詰まったもので作る。石膏型の成型では、空洞部分に液体状の粘土：泥漿（でいしょう）を満たすと、石膏型の表面から泥漿の水分が吸収され、型に沿って粘土が硬化する。必要な厚みが得られたら、残った泥漿を排出し、ある程度硬化するのを待って取り出すと、袋状の成型体が得られる。鑄込み口は切断して仕上げる必要がある。急須などもこの技法で作られるが、多くの場合はハンドルなど別パーツを組み合わせて接着して製作する。同一アイテムの型を複数個並べて生産することが多い。磁器の場合は10分前後で粘土を排出し、脱型までの1サイクルは30分～1時間程度である。

複雑な形状に対応でき、汎用性が高い。複雑な機械を必要とせず、簡単な設備で生産が可能である。接着などを行わない場合は、ある程度の習熟は必要であるものの、高度な技術を必要としない。型割りが複雑になるため、1アイテムあたりの型数が多くなり、型製作は煩雑である。型同士のガタが大きくなりがちなこと、厚さを揃えることが困難であり、

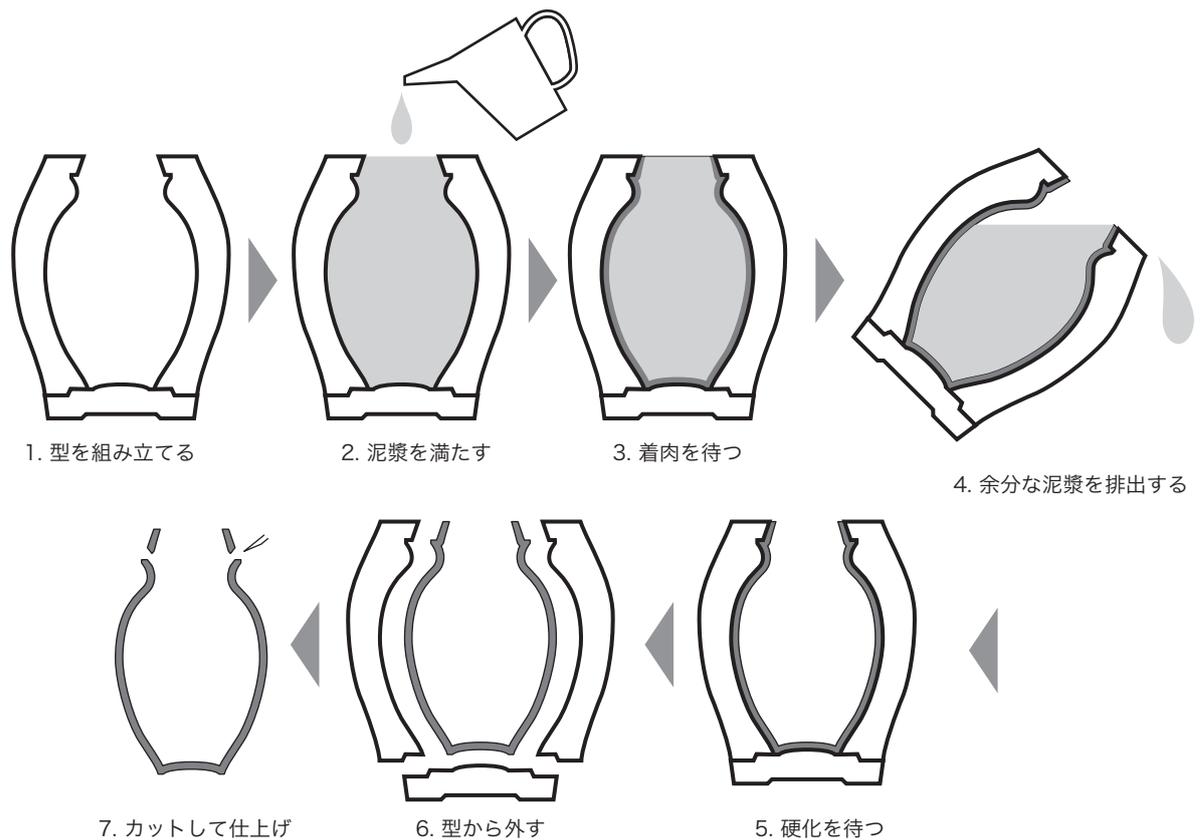


図 5-1 排泥鑄込の模式図

寸法精度は劣る。成型後に型の合わせ面（パーティングライン）を手作業できれいに仕上げる必要がある。成型体の外面は型の性状がそのまま現れるため良好な面が得られるが、裏面は粘土排出時の粘土の流れが残るなど、面をコントロールすることは難しい。

5-2-2. 圧力鑄込み法

上下2分割の型で成型可能な場合に多く利用される。作りたい形状を空洞にした型に泥漿を流し込むと、石膏型の表面から泥漿の水分が吸収され、型に沿って粘土が硬化するのは上記の排泥鑄込と同様であるが、水分が吸収されると同時に収縮（肉やせ）が発生するため、収縮分の粘土を更に押し込んで成型する。単純な方法ではパイプなどで高い位置から泥漿を重力差で押し込むが、多くの場合は空気圧を利用して押し込むための機械「圧力鑄込み機」を利用する。原理的にはプラスチックのインジェクション成型に似ている。一度に複数個の型を垂直方向に積み上げて成型する場合が多い。型を積み重ねて使用するために、型の上下面を平行かつ平面に仕上げる必要がある。上下2分割で成型可能であり回転体でない場合には、ほぼ唯一の成型法である。10分程度で成型は完了するが、ある程度硬化するのを待って脱型する。成型の1サイクルは30分～1時間程度である。成型作

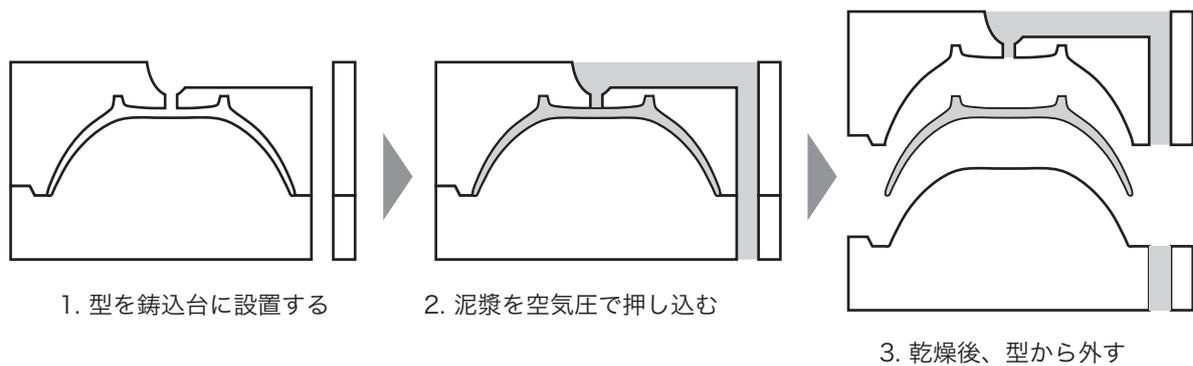


図 5-2 圧力鑄込法の概念図

業にある程度の習熟は必要であるものの、それほど高度な技術は必要としない。成型体が初期乾燥で収縮するため、型に貼り付いて外れにくい場合があり、脱型作業に多少の習熟が必要である。型が比較的大型で重く、作業者への負担が大きい。成型体の表面は型の性状がそのまま現れるため、良好な表面を得ることができる。成型後に上下分割のパーティングラインと、鑄込み口（ゲート穴）を手作業で仕上げる必要がある。先の排泥鑄込みよりは成型体の生地が緻密になる。

5-2-3.機械ロクロ成型法

手挽きのロクロ成形を半自動化したもので、回転体の成型で利用される。深さの浅い形状では内側を、深い形状では外側を石膏型で用意し、反対の面は断面形状の板（へら）を



図 5-3 機械ロクロ成型機

用意する。ヘラを使う面の違いにより、それぞれ内ヘラ成型、外ヘラ成型と呼ばれる。回転するロクロに型を固定し、適量の粘土を型表面に置いて回転させ、可動式のアームに固定したヘラを下ろして成型する。型とヘラの間で回転体が成型される。1分以内～数分の短時間で成型が終了し、適度に乾燥させた後に脱型する。使用する粘度の含水率が高く柔らかいため、乾燥時の収縮が大きい。ヘラとアームの位置合わせにより器の厚さが決定されるため、位置合わせを慎重に行う必要がある。この位置合わせと成型には熟練した技術が必要なため、この機械ロクロ成型には「伝統工芸士」資格がある。周辺部にはバリが残るため、成型後にロクロに載せて切削加工して仕上げる。型の抜け勾配を良くするため、高台部分は肉厚に成型し、成型後にロクロに載せて切削加工して仕上げる場合も多い。

5-2-4.ローラーマシン成型法

上記の機械ロクロ成型をさらに自動化したもので、石膏型はほぼ同様のものを用意するが、反対側の面には金属製で円盤状のコテを使用する。二つは回転差があり、捻りながら

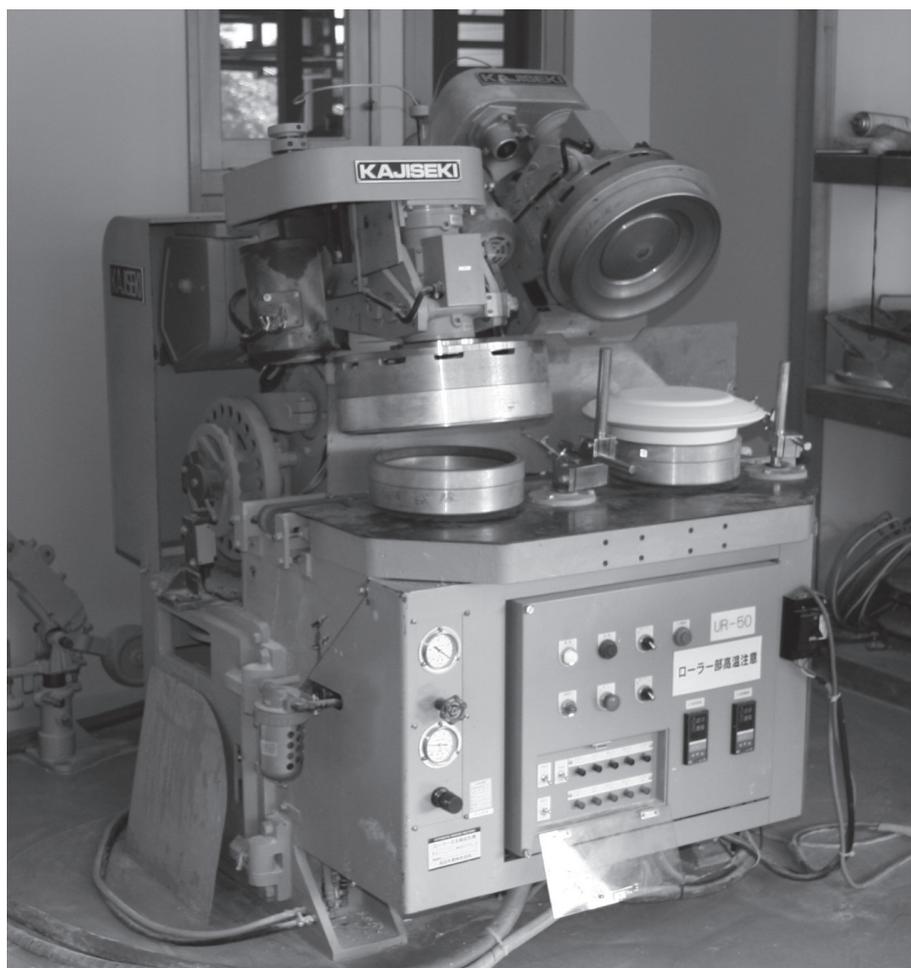


図 5-4 ローラーマシン成型機

圧延して成型する。コテと石膏型の間隙が成型体の断面となる。成型は数秒で終了する。使用する粘土は含水率が低く比較的固いもので、円筒状に押し出し成型されたものを適当な長さでカットして型の上に載せ、石膏型とコテを回転させ、コテを型に押し付けて圧延して成型する。石膏型も回転するが、コテも加熱された上、回転する。余分な粘土は刃物でカットする。成型直後でも成型体は比較的固い。型から取り外すまでの時間も短くて済むため、最も大量に量産できる方法である。型は高速で回転することと、コテを押し付ける圧力が強いことから、機械ロクロよりも高精度で頑丈に作る必要がある。成型体は最も緻密で製品の精度も高い。金属製のコテは形状ごとに作る必要があるが、高価であるため、数千個以上の量産に利用される。成型には専用のローラーヘッドマシンが必要である。成型原料となる円筒状の粘土の直径は器の径に合わせたものが用意される。大規模な工場では、型のセット、粘土のカットとセット、型の回転とヘッドの回転、圧延、余分な粘土のカット、ヘッド戻しと回転の停止、型の取り外し、成型体の取り外しなど一連の作業をロボットと連動させて自動的に行うシステムが存在する。違う製品を成型する場合には、コテの交換と位置合わせが必要であり、位置合わせには熟練した技術が必要である。

5-3.現状のプロセスによる型製作法

以上に主な量産方法を説明したが、機械ロクロとローラーマシン成型はほぼ同じ石膏型であるため、主に3つの石膏型製作法がある。

陶磁器の型加工では、基本的に水と混ぜた石膏の硬化後に切削加工を行い、彫像で行われるような盛り上げる加工は行わない。初期反応が終わった段階では、石膏は柔らかいアイスクリームのような状態なので、この時点でだまかに除去加工する。反応が進むと徐々に固くなるため、固くなった後に仕上げ加工を行う。従来の方法では、まず原型が必要である。原型はロクロを使うか否かの違いはあっても、基本的には石膏から内側の形を始めに削り上げ、全体を覆うように石膏を流して外側の形を削り出すものである。原型が完成した後に、型枠を配置して石膏を流し、成型法に応じて型を作り上げる。

5-3-1. 排泥鑄込みの型製作法

排泥鑄込みの原型製作は、花瓶などで回転体であればロクロで成型する。回転体でなければ、石膏などの塊から手で削り出すか、人形などであれば粘土で作られる。粘土で作った場合は、一度石膏で型取りし、再度石膏を流して作り直し、表面をきれいに仕上げるこ



図 5-5 排泥鑄込用型の一例（左）と焼成品

とが多い。他の成型法用の石膏型製作でも共通することだが、型を分割して作るためには、まず粘土などで分割面を作る必要がある。2分割の場合は、分割面を作った粘土を除去し、粘土があった場所に石膏を流すことで型が完成するが、3分割以上の場合はこの工程を繰り返す必要がある。この型と型との合わせ面には、後で組み合わせるときのきっかけとなる凹凸を加工する必要がある。この凹凸は、有田焼業界では「爪」と呼ばれる。成型原料の粘土を流し込み、また排出する穴を設ける必要がある。

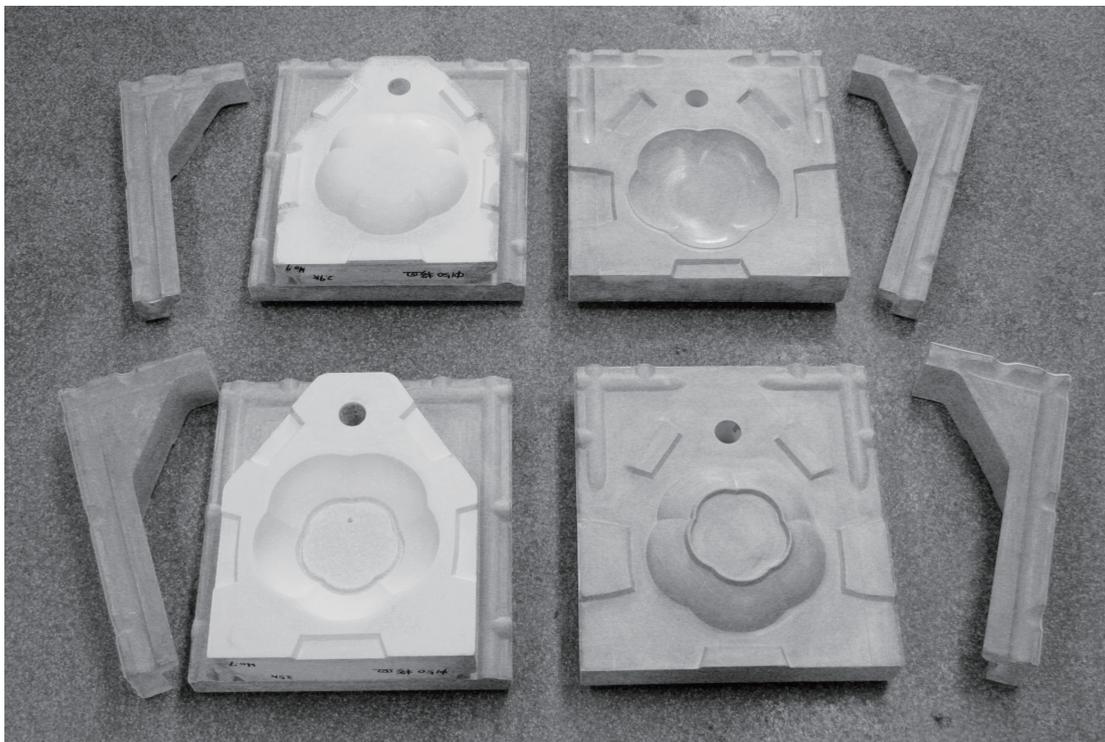


図 5-6 圧力鑄込用の型（ケース含む）

5-3-2. 圧力鑄込みの型製作法

圧力鑄込み用の原型は、回転体であればロクロで成型するが、回転体でなければ、機械を使わず手作業で製作する。まず作りたい形状の内側を加工する。次にその周りに石膏を流して、内側を取り外し、外側を加工して完成させる。回転体であれば厚さは均一にすることができるが、回転体でなければ厚さを揃えることは困難で、熟練が必要な作業になる。圧力鑄込み型には、粘土を圧入するための穴が必要となる。これは器裏面の目立たない場所に配置する必要がある。圧力鑄込み型は複数の型を重ねて成型するが、粘土を上下に通すための垂直の貫通穴と、個々の型内に粘土を流すゲートが必要である。

5-3-3. 機械ロクロおよびローラーマシン用の型製作法

機械ロクロとローラーマシン用の型は、製品に現れる原型としては器の片面のみであるが、実質的にはロクロに載せて生産に使う型と同じ形状で捨て型と呼ばれるものが原型であるとも言える。型加工はほとんどすべてロクロ上で行う。精密に作りたい場合、断面の型ゲージを作り、時々合わせながら仕上げていく。械ロクロとローラーマシンでは、試作でも複数個の型を用意するケースが多く、ケース型まで一気に製作することが多い。試作には個別のヘラやコテも用意する必要がある。とくにローラーマシン成型では、コテの修正



図 5-7 機械ロクロとローラーマシン成型用の型：内ヘラ（内コテ用）

は非常に厄介でコストがかかる。回転体であるため、石膏型の製作そのものは比較的短時間で可能である。熟練した職人ならば、半日程度で一組の型製作を行ってしまう（図5-8）。

5-4. CNC切削による型製作法の研究

5-4-1.はじめに

型製作プロセスをデジタル技術で変革するためには、現状の方法を置換できる方法確立しなければならない。形状データを基に、NCフライス盤（マシニングセンタ）でNC切削を行うCAD/CAM技術は、まず自動車業界を中心とした、プレス金型を使用する業種で導入され、やがてプラスチック成型用インジェクション金型を使用する業界へと普及した。

これらの業界で使われているのは、金型を切削加工するために、強力なトルクがある主軸モータと、金属の塊を載せて加工するための頑丈なテーブルと、テーブルを動作させるための大型サーボモータを備えた高価なマシニングセンタである。

陶磁器業界で使用する型材料は金属ではなく石膏であり、金属よりはるかに軽量で強度も小さい。金属加工用のマシニングセンタは明らかに過大な性能であり、価格も高価すぎる。しかしながらこのような用途に合致する機材は一般的ではなかった。

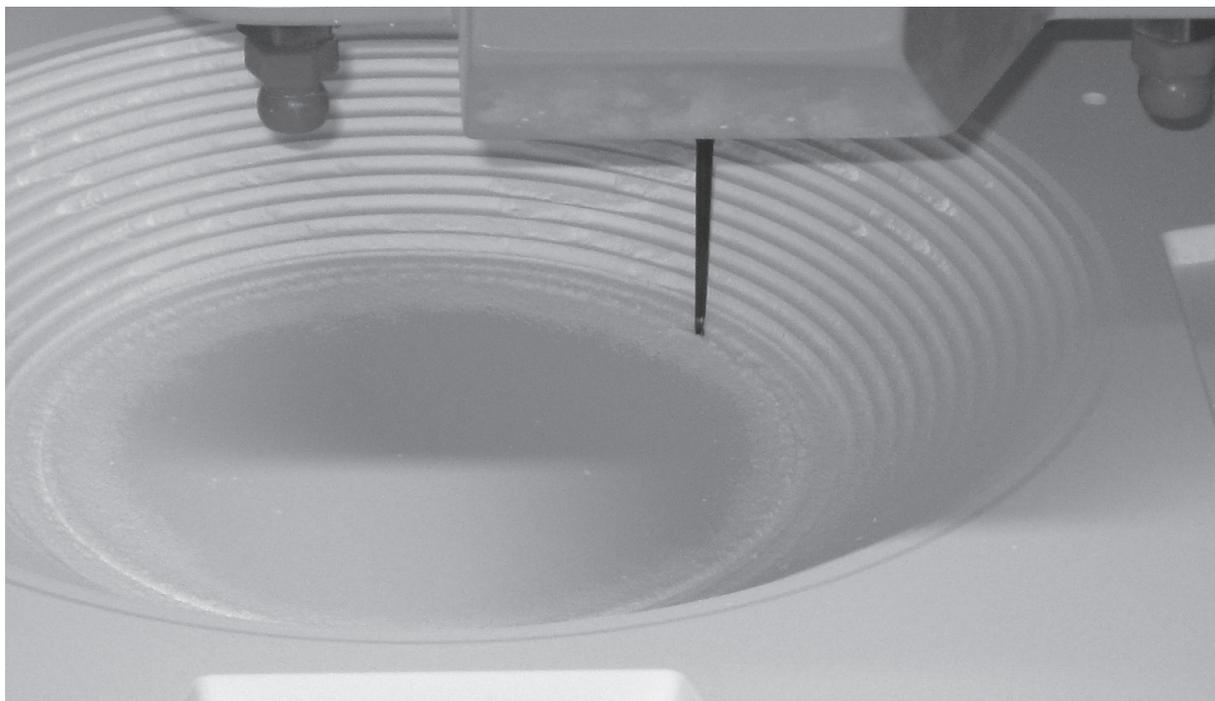


図 5-8 CNC 切削により直接石膏型製作を行っている様子

CAD/CAM 技術の発展は、むしろ精密で自動的な型製作を目指して、NC 工作機が先んじて開発され、形状をデータ化する CAD の方が追いかける形で開発されたのは第 2 章で述べた通りである。そして第 4 章で述べたように、型加工ではなく、立体データを確認することを目的とした出力機器として、光造型機に代表されるラピッドプロトタイプング機器が開発された。本研究で使用したモデリングマシンは、やはり型加工ではなく、ケミカルウッドに代表される切削加工用の樹脂を NC 加工して形状データ確認用モデルを製作するために、小型のモータや軽量のテーブルを備え、相応に低価格で提供されるようになったカテゴリの機械である。

本研究では、ローランド DG 社製モデリングマシン、MDX-650A を使用した。加工可能範囲（テーブル移動サイズ）は 530mm × 450mm × 155mm であり、最大回転数 10,000rpm の主軸スピンドルモータとオートツールチェンジャー (ATC) を備えている。切削指示言語として NC 切削では事実上標準の G コードと Roland 社独自の RLM-1 に対応している。

5-4-2.石膏の切削特性

石膏は NC 切削加工の材料として一般的ではなく、その切削適性についても研究する必要があった。前例として、Coole らが、石膏を NC 切削で加工するための条件について研究したものが²⁸。これは「Molda3」という名称で、イギリスの陶磁器メーカー Denby 社から供給される石膏を使用して、切削の最適条件を研究したものである。（現在は BPB Formula 社から供給されているようである。）Molda3 石膏は陶磁器用として汎用的に使われるもので、圧縮強度が 14MPa である²⁹。彼らは、水分を含んだ状態では切削が不可能で、最適な乾燥状態は 8 日後で含水率 8% であることを紹介している。一方、実験に使われた刃物は直径 20mm と 30mm でかなり大径のものであり、切削条件も我々が参考にできるものではなかったため、有田地区で量産に用いられている、サンエス石膏社特級緑を使用して、改めて実験を行った。この石膏の圧縮強さは 10MPa で、先に挙げた Molda3 よりは柔らかい材料である³⁰。

石膏の適正な乾燥状態については、含水率が高い状態では刃物への付着などで切削そのものが成り立たないことが確認できた。ある程度乾燥した状態で現実的な切削作業が可能であり、含水率 10% 程度で最も良好な切削が可能であった。切削後の表面は、極端に含水率が高い初期硬化直後を除いて、乾燥状態に関わらず良好であった。含水率 5% 程度で

微粉塵が大量に発生するようになるため、粉塵を押さえるためには含水率が10%程度の方が望ましいが、この程度の含水率では、切削で除去された石膏粉塵が切削後の表面に再付着して固着してしまうことが多くなり、除去することが困難であった。このため、粉塵の発生は多く見られるものの、できるだけ乾燥させた状態の方が望ましい、という結論に至った。粉塵対策は、微粉塵を集塵機により集めることで対処することとした。

5-4-3. NC切削による実際の型製作

NC切削加工では、エンドミルと呼ばれる刃物を利用する。垂直方向（軸に平行）の穴開け加工ではドリルを使用するが、エンドミルは横方向の加工を行うための刃物である。実際に型加工を行うためには、加工開始から終了まで1本の刃物で行うことは現実的ではない。まず太めの刃物で加工素材のブロックから最終的に加工したい形状まで0.5～1mm程度残して粗取り加工を行い、さらに細い刃物で仕上げ加工を行う必要がある。太い刃物は剛性が高く、粗取り時に1送りあたりの切削深さと切削ピッチを大きくすることができる。刃物の円周上の速度は相対的に速いため、刃物回転数を上げることはできないが、切削送り速度を速く設定できるため、仕上げ加工でも可能な限り太い刃物で加工を行うことが、全体の加工時間短縮につながる。

実験結果としては、切削速度200m/min程度が良好な値であった。これより速い速度であると、高周波の異音が発生し、切削後の欠け（チッピング）が多くなった。1刃送りの適正值は0.1である。刃物が細くなると、この値に関わらず切削屑の抵抗などで折損す

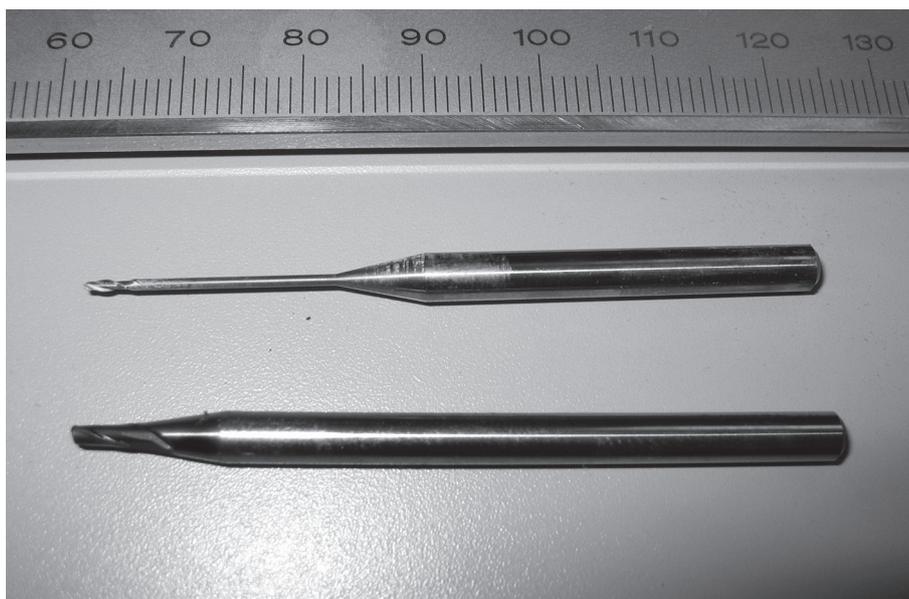


図 5-9 切削加工に使用する刃物：エンドミルの例

る可能性が高くなるため、若干遅く設定する必要があった。

切削ピッチであるが、平坦面では平坦面がある刃物（フラットエンドミル、ラジアスエンドミル）を使用することで、切削ピッチを広くすることができ、加工時間を短縮することができる。実際の型製作では、作りたいものが配置される部分以外に型合わせ面が必要であるが、型合わせ面はできるだけ平坦面を多くすることで、加工時間が短縮できることになる。

刃物を太いものから細いものに交換する際には、装着後の長さを合わせる必要がある。刃物の長さは機械の動作精度と同じ 1/100mm 以内の精度で合わせなければならない。手作業の交換で同じ長さに装着することは現実的に不可能なので、センサなどで測定し、補正値を入力して対応するが、交換作業は非常に面倒な作業である。また刃物を交換するたびに人が作業する必要性が生じ、長時間の連続運転ができない。このため、オートツールチェンジャー (ATC) と呼ばれる、複数の刃物をあらかじめ装着して刃物長の測定と補正値の入力を行っておき、加工途中で自動的に交換するユニットを使用することで、作業性を向上させることができる。粗取りから仕上げ加工へ移る際にも人が作業を行う必要がなく、夜間に長時間の自動運転を行うことも出来るようになる。ATC の導入は非常に重要で、加工機の稼働率を大幅に向上させることができる。

以上の工程を実際に行うためには、3D 形状データを基にして CAM ソフトウェアを利用し、切削機を制御して加工するための NC データを制作しなければならない。加工範囲

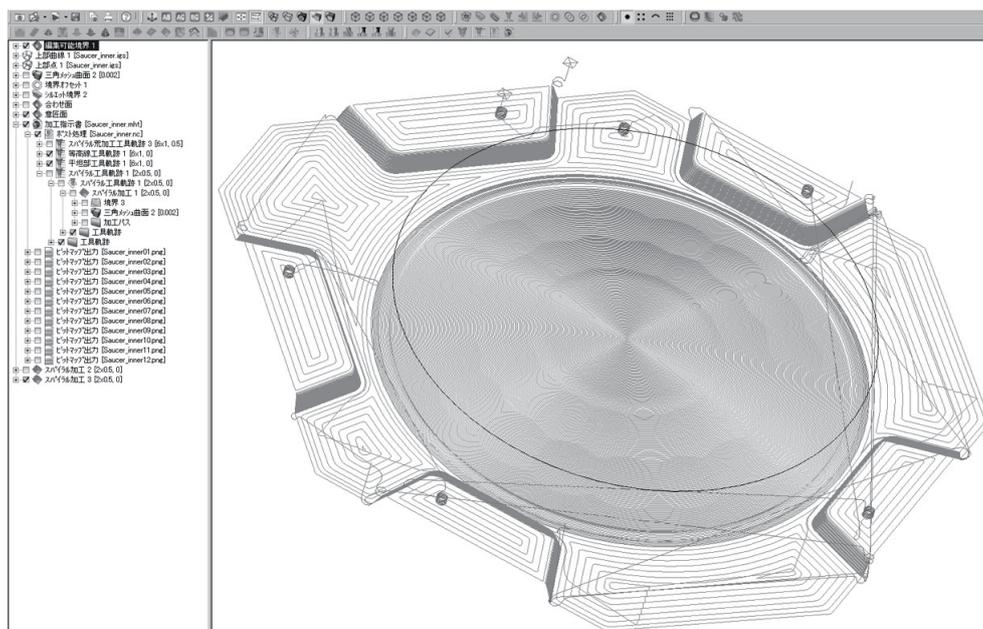


図 5-10 パス計算の一例 : Machining STRATEGIST 画面

と加工方法・切削深さと切削ピッチを設定して切削パス(刃物が走る経路)を計算した上で、主軸回転数や切削速度などを指定するポスト処理を行うことで、加工に必要なNCデータが得られる。CAMソフトウェアの操作性と性能は、作業効率に大きく影響するため、選定を慎重に行う必要がある。CAMソフトウェアは3D形状データを読み込む際に、曲面を微小な多角形に置換するが、この処理に極端に時間がかかるものがある。また切削する範囲指定が柔軟に行えないと、効率的な切削パスを生成できない。実際のパス計算や個々のCNC切削機に応じて変換計算を行うポスト処理においても、極端に時間がかかるものがある。この研究では数種類のCAMソフトウェアを試したが、最も満足できる結果を得られたのは、Vero Software社製 Machining Strategistであった(図5-10)。

5-4-4.NC切削による型製作での配慮と問題点

先に述べたように、石膏の切削屑はNC加工中に大量に発生する。空気中に漂う微粉塵は集塵機で集められるが、それより大きな切削屑は加工部周辺に堆積する。あまりに切削屑が堆積した状態であると、細い刃物では屑が抵抗となり、刃物が折れる可能性が高くなる。このためには、加工途中で適宜切削屑を除去した方がよい。堆積した粉塵は集塵機では除去できないため、刷毛や掃除機などで取り除く必要があった(図5-11)。

機材の制限として、テーブルの可動範囲以上の面積は加工できない。また加工方法上の制限がある。3軸制御の加工機では、逆勾配(下部より上部が広い形状)は原則として加



図5-11 切削加工時に発生する屑と粉塵

工できない。この点は、後に粘土で成型する際にも抜け勾配が必要であるから、型加工が行えた場合には成型が可能であるという判断基準にもなるので、問題にはならない。

エンドミルは小径の刃物であっても、断面は円である。凸形状であれば形状の通りに加工可能であるが、凹形状で刃物径より小さなRは加工できず、刃物径のRで仕上がることになる。現実的には、小径の刃物で仕上げることで妥協することになるが、鋭いエッジが必要であれば、凸形状で加工して、石膏を流し込むなどして反転させるなどの手段が必要である。

またNC加工では、垂直方向の高さは刃物長さに制限される。圧力鋳込み成型の場合は垂直方向に深いものは成型が困難であるため、あまり大きな問題にはならないが、排出泥鋳込み成型の場合には深い成型物が多く、対応上問題がある。できるだけ長い刃物を使うことである程度は対応できるが、刃物がない場合は、刃物が届く高さで一度加工し、ブロックを接着して継ぎ足して再加工する方法で対応する必要がある。

上記のように、NC加工による石膏の型製作に関して全般的な所見を述べた。各生産法に応じた型製作では、次のような点に留意する必要がある。

5-4-5.排泥鋳込み用の型

現在作られている型は、画像のようなものである。代表的なのは花瓶や徳利、急須など袋形状のもので、上下2分割、左右分割で底面は別に設けた3分割、さらに上面を別にし

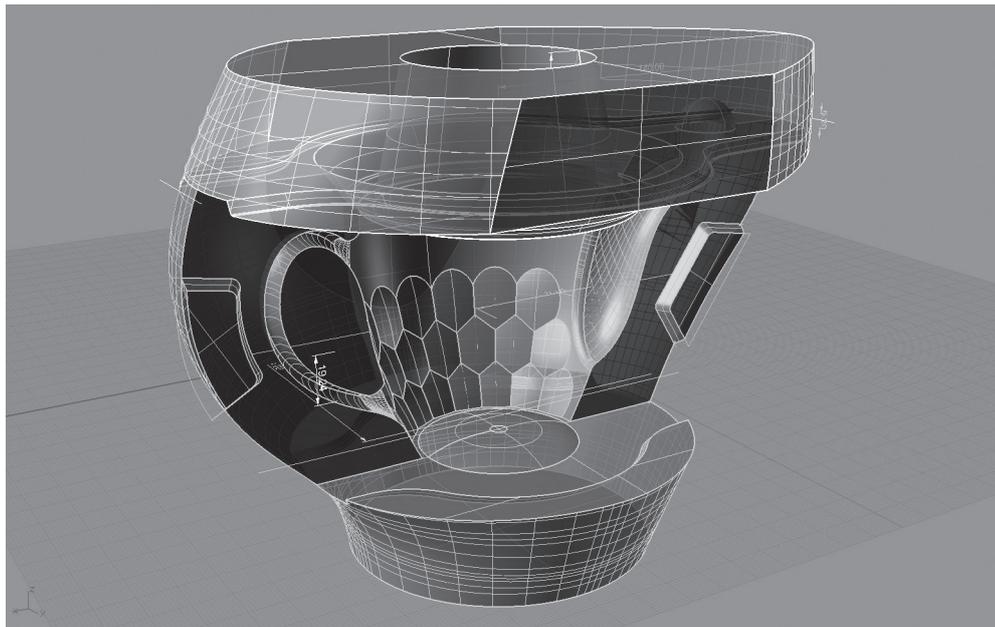


図 5-12 排泥鋳込用の型データ例

た4分割が基本となる。4分割以上では、上下の型が側面の型を挟み込む役割を果たすことになる。側面形状が複雑な場合は、側面をさらに細かく分割する必要がある。石膏型として成型時に必要な吸水性を確保するために、作りたい器物の表面から25～30mm程度の厚さを設けて外側に型表面を配置してデータを作る。

特に器の側面用の型を製作する際には、垂直方向が高くなりがちであり、製作できるサイズに限界がある。また型合わせ用の凹凸を器面と逆側に配置する必要があるため、裏面も切削する必要があるから、固定方法を考慮する必要がある。凸の爪を配置した型の裏面加工では、固定する際に凸の爪が干渉するため、固定するための板に爪部分が干渉しないような凹部を配置しておく必要がある。

以上のような制約から、CNC切削では原型製作を行い、従来の方で後工程の型製作を行った方が合理的な場合もある。

5-4-6. 圧力鋳込用の型

上下2分割の型であり、基本的には型の双方で器を配置する側の片面のみ加工できれば良いが、皿などの場合は、高台がある側の面の裏側に、粘土を器部分へ導くための経路(ゲート)を配置する必要がある。このため裏面の加工が必要となる。型を複数個重ねて使用し、上下方向に材料を通さなければならないため、垂直に貫通する穴を配置する必要があるが、あまり深い垂直穴は加工することが出来ないため、100mmを越えるような場合は、加工

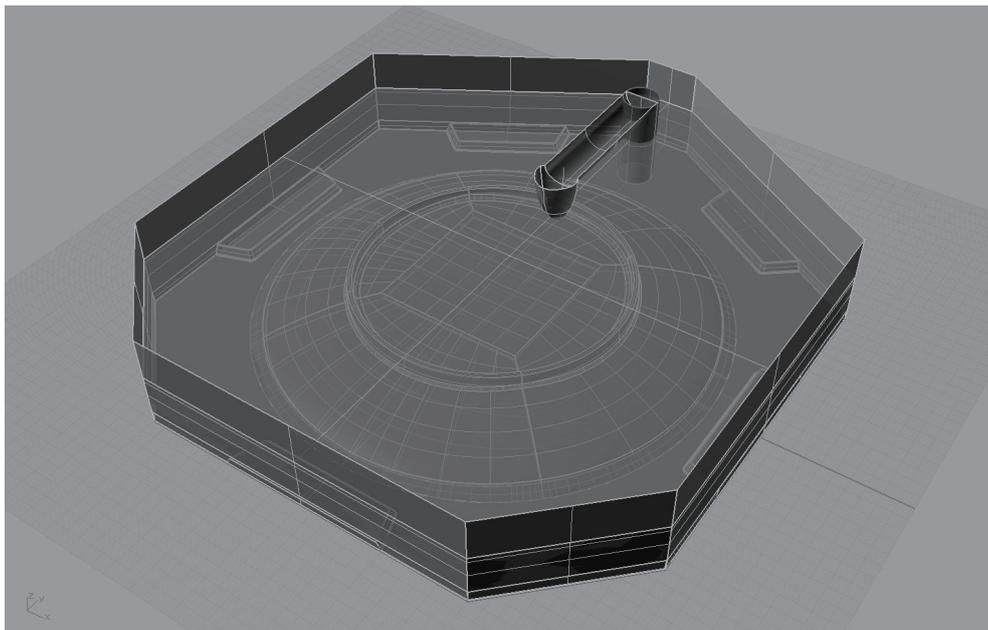


図 5-13 圧力鋳込用の型データ例

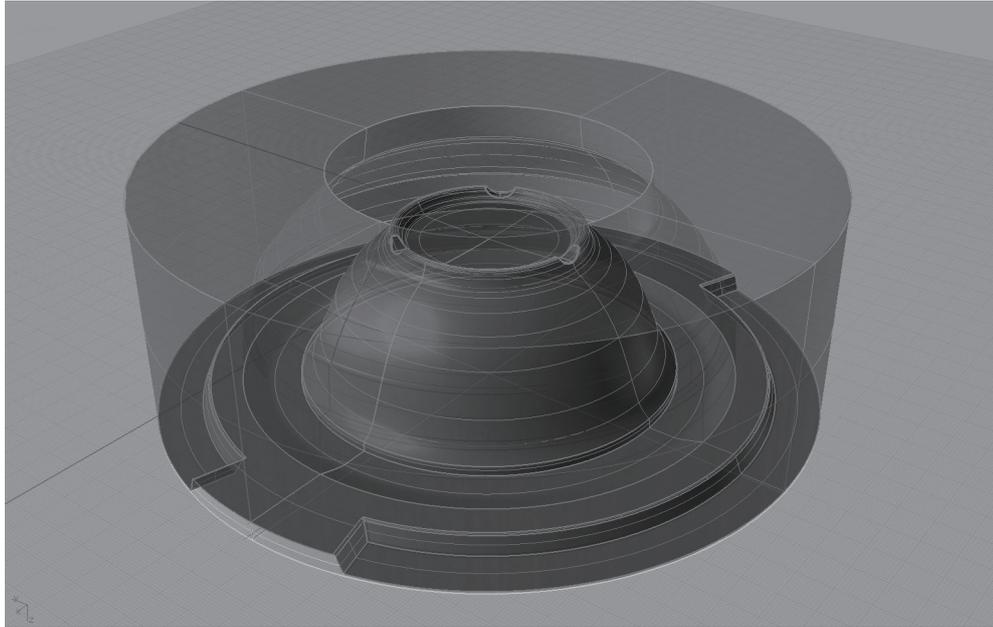


図 5-14 機械ロクロ / ローラーマシン用の型データ例

用ブロックを製作する際に、あらかじめパイプ穴を開けたブロックを用意した方が良い。NC 切削による加工は、回転体でも非回転体でも大きさが同じであれば、加工時間に大差はない。手仕事では回転体の制作時間が圧倒的に短い。このため、NC 加工での型製作は、非回転体の圧力鋳込み成型で最もメリットを発揮できることが分かった。

5-4-7.ローラーマシン、機械ロクロ用の型

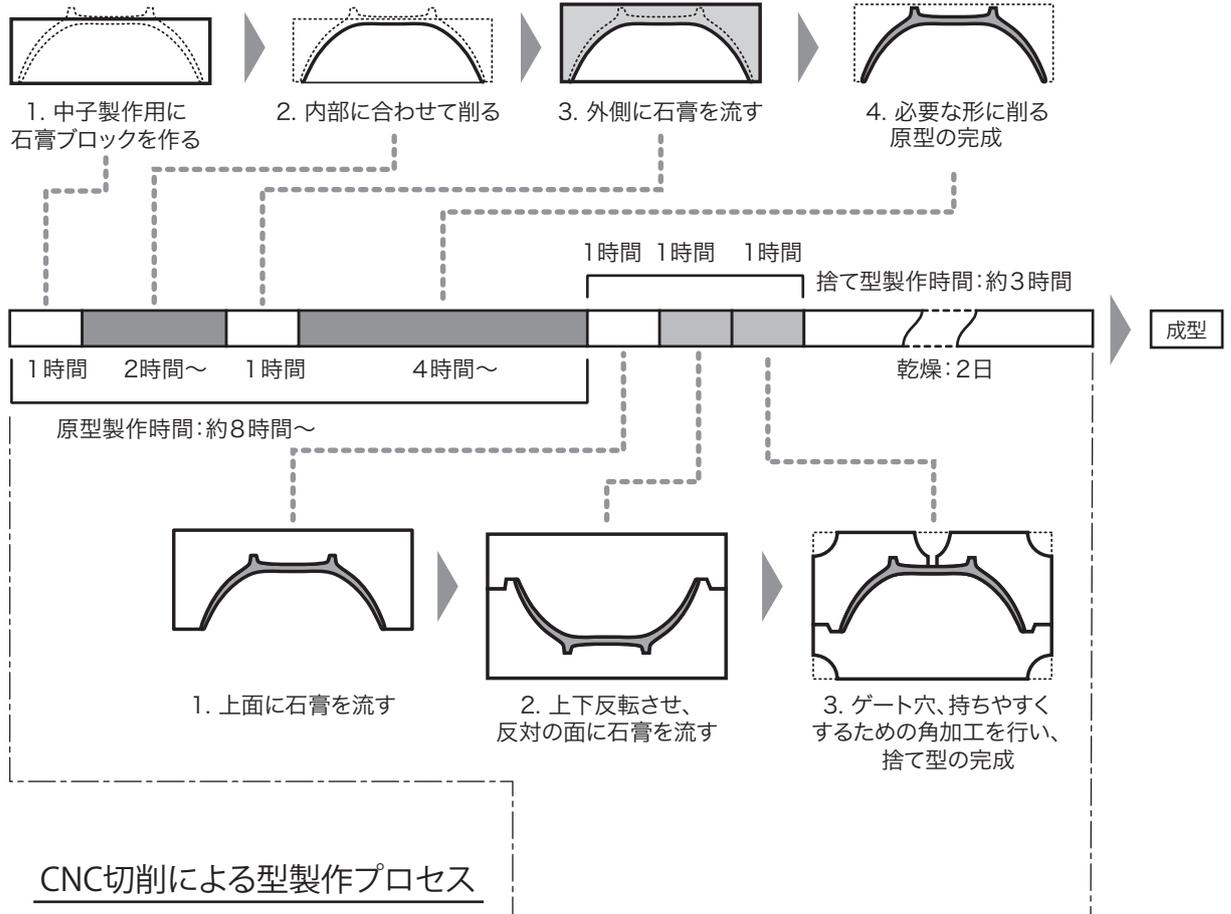
これらは基本的に丸い型であるから、円柱形のブロックを用意した方が効率的である。また複数の試作型が必要となることが多く、他の成型法の場合と異なりケース型を直接製作した方がプロセス上の短縮につながる。ケース用石膏は固く切削抵抗が大きいため、刃物摩耗が早い傾向があった。粗取り工程をできるだけ短時間に終わらせるためには、明らかに粗取り工程で除去しなければならない部分を大まかに除去したブロックを用意した方が良い。CNC 切削での粗取り加工時に刃物を摩耗させる恐れが減少すると同時に、粗取り加工時間を大幅に削減でき、総切削時間の短縮に繋がる。

5-5.まとめと考察

以上のように、陶磁器の型製作プロセスを改革するため、現状を分析し、CAD/CAM 技術と CNC 切削により陶磁器用の型製作を行うための研究とその成果について述べてきた。

今までの型製作プロセスで、原型は後の工程で試作型（捨て型）、ケース型、使用型と

従来の型製作プロセス



CNC切削による型製作プロセス

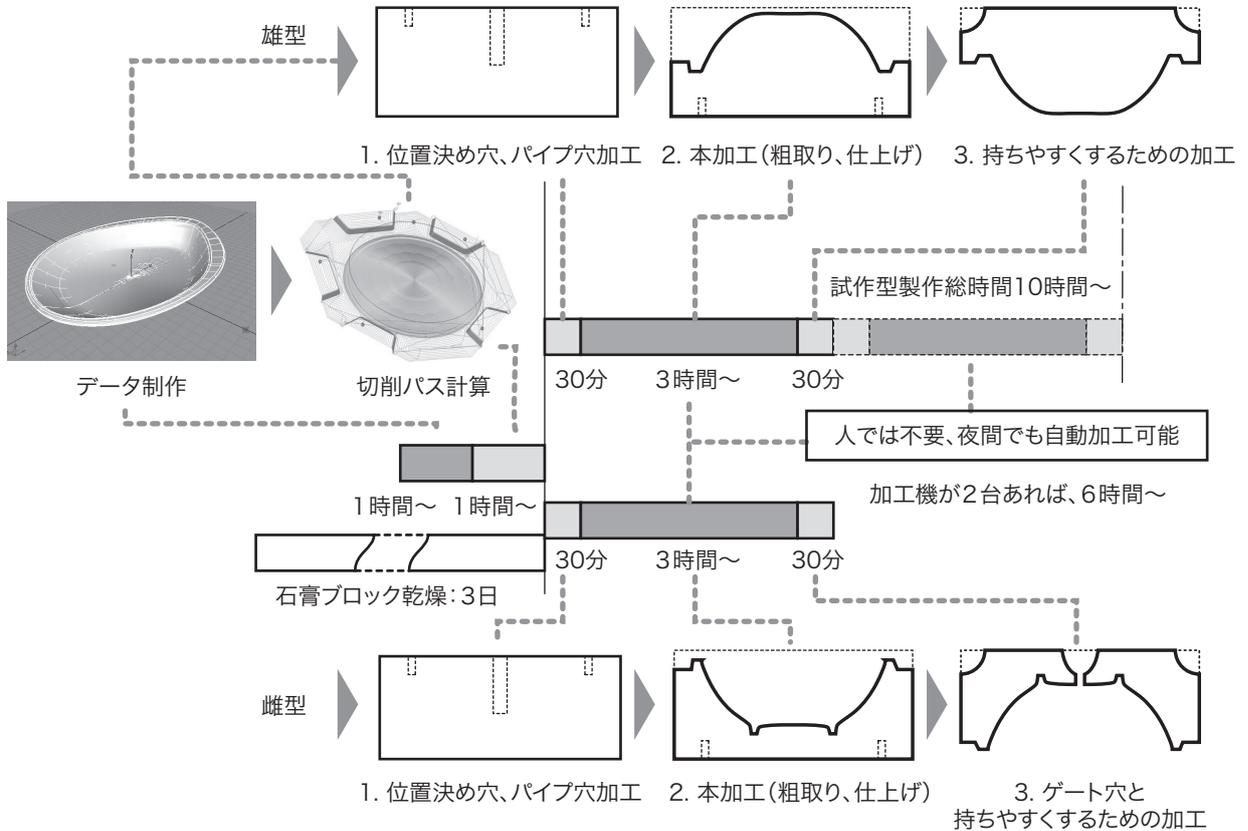


図 5-15 型製作プロセスの比較

続くプロセスの根幹となるものであった。NC 切削では、従来のプロセスで最も重要で時間がかかっていた原型製作が不要となる。原型製作は特に熟練が必要で、製品の品質を決定づけるものであった。原型が持っていた意義は、3D 形状データと試作型の直接切削過程が受け持つことになった。原型は大きさこそ違うものの形状確認モデルの役割も持っていた。新たなプロセスでは、形状確認はデータ制作時に行うほか、完成した試作型で成型した生地が形状確認モデルの役割を果たすことになる。焼成したものは最終製品と同じ素材と品質のものであり、試作品としては理想的なものとなる。

良好な切削加工を行うためには、あらかじめ石膏ブロックを乾燥させておく必要がある。従来の方法では型加工後に乾燥させなければ成型は行えなかった。また原型から型取りする時に塗布する離型剤（カリ石鹼）が試作型に残り、これが吸水性を妨げるので、最初の数回は良好な成型が行えなかった。NC 切削で製作した型は加工後、すでに乾燥しており、表面の吸水性にも問題が無いため、ただちに試作成型に取りかかることができ、リードタイムを 3～4 日以上短縮することが可能となった。

型の精度は、手作業では熟練した職人でも $\pm 0.5\text{mm}$ 程度の誤差があったが、NC 切削による精度は $\pm 0.1\text{mm}$ 以下となった。熟練した手技を持たなくても、今までの型の精度をはるかに越えた高精度の型を製作することが可能となった。

試作の結果、修正が必要になることは当然考えられる。小さな修正であれば、修正部分だけを切削し直すことで、最小限の時間とコストで対応可能である。また今までの手作業によるプロセスでは、修正を施した場合、どの箇所をどの程度修正したのか正確に把握することはほぼ不可能で、施した修正が結果にどう影響したか正確に判断できなかった。デジタル化することで、修正履歴が正確に蓄積され、結果に対する影響も把握することができるため、将来の製品開発において修正を行う場合でも有効な判断材料となる。

磁器の生産において型の精度は高いほど好ましい。また今までの技法で作られた型に準じた製法に配慮したため、試作や生産に使用するためのデメリットは見いだされない。

このように CNC 切削による型制作は、型の精度を飛躍的に向上させたほか、数多くのメリットをもたらした。しかしながら、型の精度を向上させても、陶磁器には焼成変形という問題がある。現状のプロセスでも、変形に対応するために試作と型修正を繰り返す必要があるが、これは NC 切削により型を製作しても同様に対処しなければならない問題である。さらに効率的なプロセスとするためには、陶磁器独特の問題である、この焼成変形への対応策を考える必要がある。このため、次の段階の研究を行った。