

金型製作における加工情報解析による新加工法の開発 (第 2 報)

宗廣修興, 岡田芳雄, 松葉 朗, 竹保義博, 小島田博夫, 兼広二郎,
古川 昇^{*1}, 小池 明^{*1}, 倉本丈久^{*1}, 岡野 仁^{*2}, 西山秀雄^{*3}

Development of New Working Process with Information Analysis for Metal Mold Manufacture

MUNEHIRO Shuko, OKADA Yoshio, MATSUBA Akira, TAKEYASU Yoshihiro,
KOTORIDA Hiroo, KANEHIRO Jiro, FURUKAWA Noboru^{*1}, KOIKE Akira^{*1},
KURAMOTO Takehisa^{*1}, OKANO Hitoshi^{*2} and NISHIYAMA Hideo^{*3}

We had investigated polishing process using water jet in order to shorten the polishing process of metal mold manufacture. To begin with, the polishing conditions according to the surface profile were drawn. Then, the surface profile after polishing process with the roughness of less than 1.0 μ mRa could be estimated by using an optical fiber sensor. In addition, a polishing system operated by DNC (Direct Numerical Control) was developed, in which the optimum polishing condition was selected from the evaluated information of the surface roughness and the NC (Numerical Control) program was adjusted automatically. As a result, this system could obtain a fine surface (0.063 μ mRa, 0.502 μ mRy) from ball end-milled surface (0.312 μ mRa, 2.222 μ mRy).

金型みがき工程を短縮するため、ウォータージェットを利用したみがき加工を検討した。まず、表面状態に応じたみがき加工条件を導出した。そして、加工後の表面状態は、光ファイバセンサによって、1.0 μ mRa 以下の表面で評価可能となった。その評価情報から、最適なみがき加工条件を選定し、その条件によって NC プログラムを自動的に修正し、DNC 運転によって加工を行うシステムを開発した。本システムにより、ボールエンドミル加工面 (0.312 μ mRa, 2.222 μ mRy) から、鏡面に近い加工面 (0.063 μ mRa, 0.502 μ mRy) を得ることができた。

キーワード：ウォータージェット, みがき加工, 表面あらさ, ファイバセンサ, DNC (Direct Numerical Control)

1 . 緒 言

金型は部品量産のツールで、一品一様の生産が行われるため、同一の金型を繰り返し生産することはほとんど行われていない。また、ユーザーニーズの多様化、商品寿命の短命化により、型製作費が削減されるとともに、急激な国際競争により、商品の競争力維持のため一段とコスト削減の要求が高まっている。

金型製作で、自動化・省力化が遅れている工程は、最終工程の「みがき工程」である。特に、金型の表面状態が製品に転写されるプラスチック成形用金型においては、全工程時間の 1/3 を占め、ほとんど熟練技能者の手作業に頼っているのが実情である。これまでも「みがきの自動化」に関する技術開発が行われ、いくつかの自動機

が製品化された。しかし、三次元形状をみがく際には多種の砥石が必要であるなど、必ずしも現場での使い勝手がよくないため、広く利用されていない。

そこで、自由形状に対応できるように固定砥粒を用いない遊離砥粒を利用する噴射加工の可能性を追求することを目的として、前報¹⁾では、ウォータージェットによるみがき加工が可能であることを示した。

本報では、金型みがき工程の省力化のために、加工面のあらさに関する情報から、最適なみがき加工条件を選定し、加工を行う一連の工程を自動化するシステムの構築を目指した。まず、2次元平面を対象に、ウォータージェットによるみがき加工条件の選定、みがき加工後の表面状態評価法、それらを用いた加工機の制御システムの構築について検討を行った。

2 . 加工条件の選定

2.1 実験方法

実験には前報と同じインジェクション方式のウォーター

平成 13 年度中小企業技術開発産学官連携促進事業

2002.5.31 受理 応用加工技術部

*1 情報技術部 *2 産業デザイン部

*3 客員研究員 (現在 , 三菱電機(株)福山製作所)

ジェット加工機（株式会社スギノマシン，C2015NN-AB，AJP35025S），試験材はプラスチック金型用鋼（NAK55；HRC40）とし，研磨材はアルミナ（住友化学工業製）を用いた。みがき加工に使用した研磨材供給も前報と同じ方法とした。

基礎実験としてみがき評価加工領域を前報と同じ10mm×10mmの平面とした。加工軌跡は，設定するピッチ幅の格子となるようにまず前後方向（y軸）のステップ加工の後，次に左右方向（x軸）のステップ加工を行うことを1サイクルとした。

みがき加工面の評価は，表面あらさ測定機（Mitutoyo, SURFTEST SV-3000S4）によるあらさ測定（Ra, Ry）を行った。

加工条件は前報の結果を基に，入射角，研磨材の粒径・濃度，加工ピッチを主なパラメータとして設定し，その他の加工条件を表1に示す。

表1 みがき加工における固定条件

ウォーターノズル径	0.25 mm
アプレシブノズル径	1.2 mm
供給圧力	200 MPa
供給水量	0.0015 m ³ /min
スラリー供給量	0.0013 m ³ /min
送り速度	1000 mm/min
スタンドオフ	50 mm

2.2 実験結果および考察

加工前の表面状態（表面あらさ）によって最適なみがき加工条件は異なることが予想される。そこで加工面の表面あらさを小さくするための加工条件選定にあたり，まず初期面の表面あらさをSiCペーパーによってRa 1.0 μmとした。各工程で表面あらさを半減させ，最終的に0.1 μmRa以下になるように3段階（1.0 μmRa → 0.5 μmRa，0.5 μmRa → 0.25 μmRa，0.25 μmRa → 0.1 μmRa）に設定した。

1.0 μmRa → 0.5 μmRa

表面あらさ（Ra 1.0 μm）の試料に対し，前報で加工

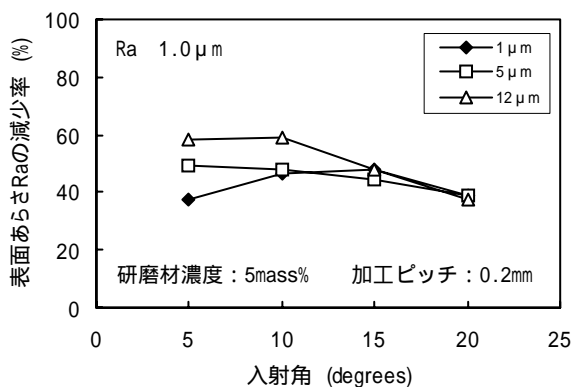


図1 初期面(Ra 1.0 μm)に対する入射角と表面あらさ減少率の関係

結果に影響を与えた入射角および研磨材粒径の影響を検討した結果を図1に示す。評価量は，初期表面あらさRa値を基準にした加工後表面あらさRaの減少率とした。図1から入射角の低い領域では，研磨材粒径が大きいほど良い結果を示した。粒径1 μmでは，研磨材自体の研削力が小さいので入射角の増大による加工力増加の影響により15°で最小を示しているが，粒径12 μmの入射角5°あるいは10°の結果には及ばなかった。粒径12 μmの入射角5°，10°の減少率はほとんど同じであるが，入射角が大きくなるにしたがって表面あらさの減少率が低下する傾向を考慮して，初期表面あらさ(Ra 1.0 μm)の試料に対し最も効率よくみがく条件は，入射角5°，研磨材12 μm，5mass%，加工ピッチ0.2mm（条件）とした。この条件で加工すると，減少率58%，つまり初期表面あらさ値の42%，0.5 μmRa前後の加工面が得られることが期待できる。

0.5 μmRa → 0.25 μmRa

次に，SiCペーパーで0.5 μmRa前後に仕上げた試料を用いて加工を行った結果を図2に示す。表面あらさRaが0.5 μm以下になると，研削力の小さい粒径1 μmでも入射角が小さいほど，加工後の表面あらさの減少率が高くなっている。また，図1と比べると粒径による差が少なくなっている。

そこで，表面あらさRaが0.5 μmより小さい領域では入射角を5°に固定した。

ここで最も効率よく表面あらさが向上する条件は先に選定された入射角5°，研磨材粒径12 μmで，減少率は55%であった。この条件で，初期表面あらさの45%，0.25 μmRa前後の加工面が得られることが期待できる。

そこで，初期面の表面あらさをRa 1.0 μmとして，上記の条件で繰り返し加工を行った結果と個別実験によって期待される減少率を比較した。単純に加工の効果が加算されるとすれば，2回加工を行えば初期表面あらさの約19%（1回目42%×2回目45%）の値になるはずであるが，実際の減少率は66%，つまり初期表面あらさの約34%（1回目42%×2回目81%）の値

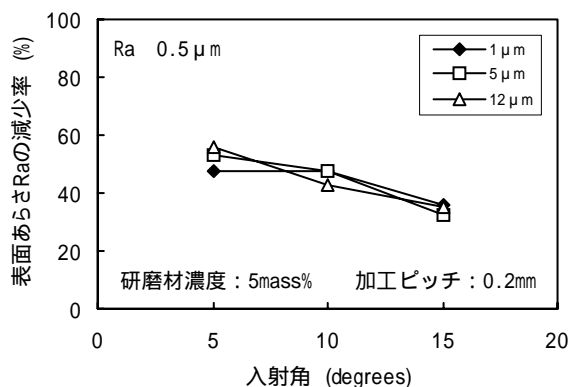


図2 初期面(Ra 0.5 μm)に対する入射角と表面あらさ減少率の関係

に留まった。このように、ペーパー研磨面からの加工とウォータージェットによるみがき加工面からの加工(ウォータージェットみがきとして2回目以降)では、減少率が異なり、2回目以降はあまり減少しない。これは、1回目の加工では、表面起伏の山頂部分を削ることによって比較的簡単に表面あらさが低下したのに対し、2回目以降になると1回目の加工で残された台地を削ることになるために表面あらさの減少率は少なくなる。このため、2回目以降の加工で表面あらさを向上させるためには、表面を荒らすことなく加工力の向上を図る必要がある。

そこで、加工力の向上を図るために研磨材濃度、加工ピッチをかえて実験を行った。そこで、最も良い結果を示した粒径 $5\mu\text{m}$ の結果と前出の(条件)の結果を比較したものを図3に示す。ここで、横軸は加工ピッチ 0.2mm で1サイクル加工を行う時間を1単位として、ピッチを半分にした 0.1mm の場合には1サイクル加工するためには2倍の時間が必要となるので、1サイクル=2単位として表記した。いずれの条件においても3回繰り返し加工を行った結果を示した(図3、図4共通)。

粒径を $5\mu\text{m}$ として、濃度を2倍(10 mass%)、加工ピッチはそのまま 0.2mm にした場合、わずかに改善効果は見られた。そこで、加工ピッチも半分の 0.1mm にすると更なる改善効果が見られ、2回加工後の減少率は83%、つまり、初期表面あらさの17% (1回目26% × 2回目65%)となり、2回目の加工でも35%程度の減少率が見込まれる。

つまりこの領域では、ウォータージェットによるみがき加工が1回目の場合には(条件)として、2回目以降の加工となる場合には、入射角 5° 、研磨材 $5\mu\text{m}$ 、10mass%、加工ピッチ 0.1mm (条件)とすることによって、 $0.25\mu\text{mRa}$ 前後の表面あらさが期待できる。

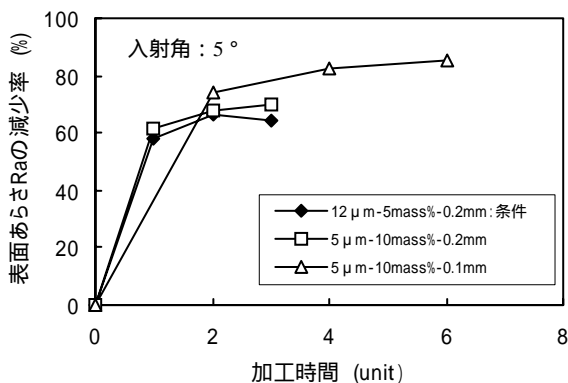


図3 初期面(Ra $1.0\mu\text{m}$)に対する繰り返し加工による表面あらさの変化

$0.25\mu\text{mRa}$ $0.1\mu\text{mRa}$

最後に、SiC ペーパーで $0.25\mu\text{mRa}$ 以下に仕上げた試料を用いて検討した。この表面あらさの領域になると、研磨材粒径が $5\mu\text{m}$ 以上になると表面あらさはあまり減少しなくなった。

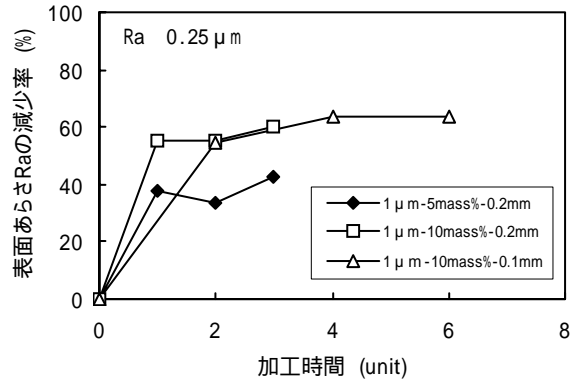


図4 初期面(Ra $0.25\mu\text{m}$)に対する繰り返し加工による表面あらさの変化

研磨材粒径 $1\mu\text{m}$ 、入射角 5° の結果を図4に示す。ピッチ 0.2mm 場合の研磨材濃度の影響をみると減少率が15%以上異なり濃度10mass%の優位性が見られる。また、ピッチを半減させた場合と比較すると、加工単位で比較するとほぼ同程度の減少率を示しているが、繰り返し加工による減少率の変化を比較すると、ピッチ 0.1mm による加工に優位性が見られた。

したがって、この領域では入射角 5° 、研磨材 $1\mu\text{m}$ 、10mass%、加工ピッチ 0.1mm (条件)とすることによって、 $0.1\mu\text{mRa}$ 以下の表面あらさが期待できる。

以上から、表面状態に応じた加工条件は表2に示すように設定した。

表2 表面状態に対する加工条件

加工条件			
表面あらさ Ra	$0.5\mu\text{m}$	$0.25\mu\text{m}$	$0.25\mu\text{m}$
入射角	5°	5°	5°
研磨材粒径	$12\mu\text{m}$	$5\mu\text{m}$	$1\mu\text{m}$
濃度	5mass%	10mass%	10mass%
ピッチ	0.2mm	0.1mm	0.1mm

3. 表面状態評価

3.1 測定方法

表面あらさの測定には、一般的に使用されている触針式と、非接触測定法としてよく用いられている合焦点方式によるあらさ評価法がある。しかし、本研究において加工面を評価する場合、加工機上では水、研磨剤などの粉塵の飛散や衝撃があるため、適用が困難である。

そこで、この環境に対して、故障が少なく、しかもセンサ部分の交換が簡単にできるなどの実用性から、光ファイバセンサ(サンクス製 FX-4)の適用について検証した。このセンサは、物体の有無を検出する光電スイッチとして汎用的に用いられているもので、光源は赤外 LED、ファイバの種類はプラスチックファイバ、プローブの外形は

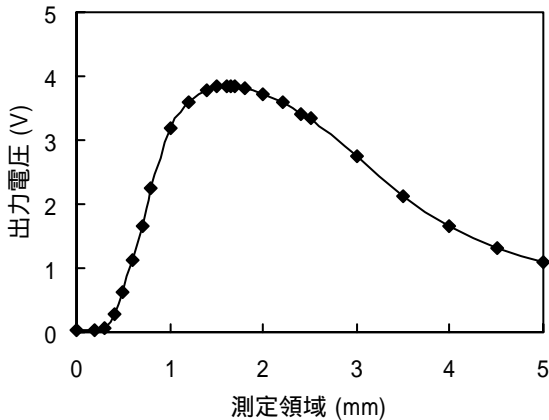


図5 光ファイバセンサの変位と出力

2.5mmである。このセンサのアンプ部にはテストポイントがあり、受光量に応じて変化する電圧を取り出すことが出来る。この振幅と表面あらさの関係について実験を行い、表面あらさ測定用センサとしての応用について検討した。

まず、このセンサのブロックゲージに対する距離とセンサ出力の関係を 図5 に示す。目標物表面からの反射光量によって変化するが、対象物からの距離が 1.5 ~ 1.7 mm の範囲では変位に対する出力の変化がほとんどない。この領域は光学ピークと呼ばれている。この領域を利用すると、距離に対して出力は変化しないが、表面の質、反射率の変化の影響を受けるため、表面あらさ評価の利用を検討した。また、ブロックゲージで測定した出力電圧はセンサの校正電圧として使用した。

3.2 測定結果

ウォータージェットによるみがき加工面を使用して、このセンサと触針式表面あらさ測定機の測定結果の相関性を調べた結果を図6に示す。この方法は、表面あらさを光ファイバセンサの受光量から評価する間接的な方法であるが、ウォータージェットによるみがき加工面では、図6の相関性から、表面あらさRaが1μmより小さい場合に適用できることを確認した。

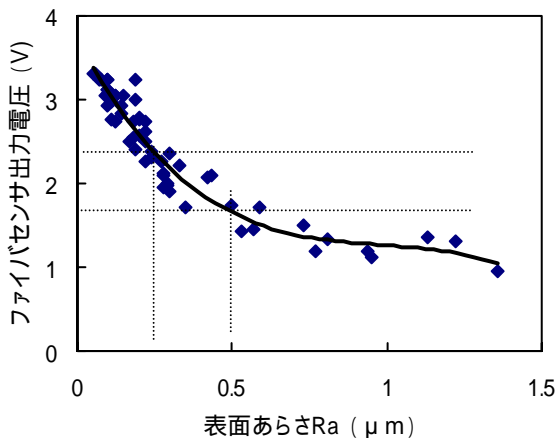


図6 表面あらさRaとファイバセンサ出力の相関

これより、ファイバセンサで測定される出力電圧値から、図6に示すように表2のみがき加工条件を適用して加工を行うこととした。

4. 加工機制御

4.1 DNC 運転

実際の金型みがき工程の省力化のためには、加工面のあらさに関する情報から、最適なみがき加工条件を選定し、加工を行う一連の工程を自動化する必要がある。そこで、本研究では、みがき加工の主要な加工条件パラメータが NC プログラムの中に含まれていることに注目し、あらさ測定結果に基づいて NC プログラム内の加工条件部分のみを一括して変更し、自動加工可能なシステムを構築した。システムの概略を図7に示す。

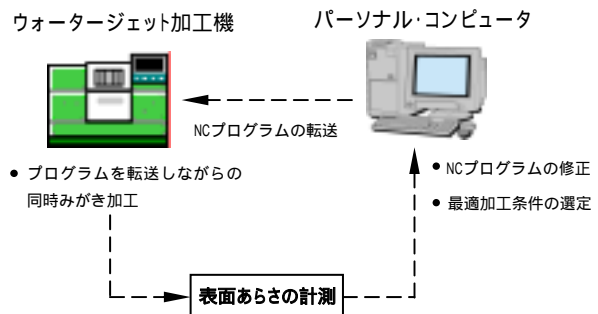


図7 自動運転システムの概略

まず、金型加工面のあらさを測定し、その結果から最適な加工条件を選定する。そして、パーソナル・コンピュータにて NC プログラムの加工条件部分のみを修正プログラムにより変更し、最適化されたプログラムをコンピュータからウォータージェット加工機に転送しながら同時に加工する。この工程を所望の表面あらさが得られるまで繰返し行う。ここで、NC プログラムを加工機内のメモリには記憶させず、コンピュータ上で管理している点が本システムの特徴である。通常は、コンピュータあるいはフロッピーディスクなどの媒体を通して加工機内のメモリに NC プログラムを登録し、メモリ運行を行うのが一般的であり、プログラムを修正する場合には加工機上で編集するか、コンピュータ上で修正した NC プログラムを再度加工機に記憶させる必要がある。しかし、本システムでは、ウォータージェット加工機に搭載されたりリモートバッファと呼ばれる機能を利用することによって、加工機内のメモリを経由せず、コンピュータ(サーバ)から NC プログラムを転送しながら同時に加工を行う DNC (Direct Numerical Control) 運転を採用した。これにより、NC プログラムはサーバであるコンピュータ上で管理・変更され、加工機上では特別な操作を一切行うことなく、自動運転が実行できる。なお、コンピュータと加工機間のプログラム転送には、浜松合同製ソフト、

ナスカ通信を使用した。

4.2 NC プログラムの自動修正

NC プログラムの変更および修正においては、Visual Basic により作成した自作の修正プログラムを使用した。図 8 にその実行例を示す。本自動修正プログラムでは、変更する加工条件パラメータの数値を入力し、図 8 の「修正」ボタンを押すと、自動的に NC プログラムが修正される。変更可能なパラメータは、供給圧力、送り速度、スタンドオフ、加工ピッチの 4 種類である。



図 8 NC 自動修正プログラムの実行例

5. 加工結果

本加工法を利用して、みがき加工を行った例を図 9 に示す。みがき加工前の表面状態としては、ボールエンドミル(6 mm)で平面加工した試料に対して行った。初期面の表面あらさは、 $0.312 \mu\text{mRa}$ であったので、条件を適用すると、 $Ra < 0.25 \mu\text{m}$ となった。そこで、条件を適用してみがき加工を行うと、表面あらさ $0.1 \mu\text{mRa}$ 以

下を満足する $0.063 \mu\text{mRa}$, $0.502 \mu\text{mRy}$ の鏡面に近い表面状態が得られた。

6. 結 言

金型のみがき工程を短縮するため、ウォータージェットを利用したみがき加工法を開発した。得られた結果を以下に示す。

- 1) ウォータージェットによるみがき加工に関して、加工前の表面状態により 3 段階に分け、それらの最適加工条件を選定した。
- 2) みがき加工面の表面あらさ評価に光ファイバセンサの光学ピークを利用した評価法を確立した。
- 3) 加工機の制御にリモートバッファ機能を利用した DNC 運転を行うことによって、みがき加工面の表面あらさ評価を反映した加工条件の選定、それに伴う NC プログラムの自動修正が可能なシステムを確立した。
- 4) 本システムのみがき加工により、プラスチック金型用鋼(NAK55)のボールエンドミル加工面($0.312 \mu\text{mRa}$, $2.222 \mu\text{mRy}$) から、鏡面に近い加工面($0.063 \mu\text{mRa}$, $0.502 \mu\text{mRy}$) を得ることができた。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、ご指導をいただいた 独立行政法人産業技術総合研究所 森和男氏、広島工業大学教授 清水誠二氏、また、実験に際し多大なご協力をいただいた株式会社ジェテック 池本義則氏、田原康熙氏 および 有限会社藤原製作所 藤原悟氏に深謝いたします。

文 献

- 1) 宗廣修興ほか 9 名：広島県立東部工業技術センター研究報告, 14, 34-37(2001).

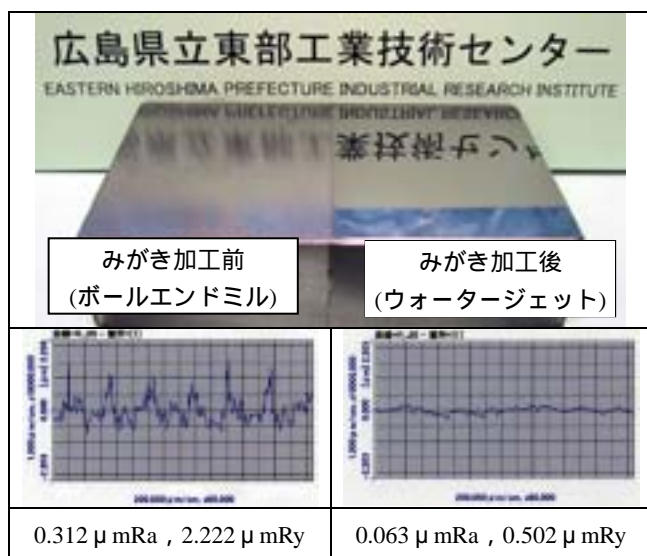


図 9 みがき加工結果