研究論文

超精密加工による金型加工

毛利　敦雄*　丸山　英樹**　本田　崇***　坂井　朋之**
知野　吉浩****　岩佐　信明****

Study of Ultra Precision Machining for Injection Mold

MOURI Atsuo*, MARUYAMA Hideki**, HONDA Takashi***, SAKAI Tomoyuki **,
CHINO Yoshihiro**** and IWASA Nobuaki****

抄　　録

微細加工による加飾を目的に，プロモーション用キーシートの射出成型金型の研究を行った。具体的には，微細加工を施した金型の試作，射出成型試験を行い，成型品の評価を行った。また，量産化に向け金型の洗浄試験を併せて行い，洗浄条件を検討した。

1．緒　　言

近年，携帯電話市場は世界中で拡大の傾向にある。加入者は2006年内に26億人に達し，2010年までに40億人に増加すると予想されている[1)]。従来，携帯電話に対する要求は機能的なものが中心であったが，携帯電話の機能が成熟してきたことから，最近新たな付加価値として，意匠の差別化が求められている。

本研究では，携帯電話のキーシートにマイクロメートルオーダーの微細加工を施し，光学的な視覚効果を持たせるための加工技術確立を目的とした。現在，微細加工は，加工装置が高価である，加工に時間がかかるといった問題があるため，光導波路やフレネルレンズといった高価な製品に限られている。今回，製品そのものを加工するのではなく，金型に微細加工を施し，射出成型により量産することでコストを抑え，一般製品への適用を試みた。また，量産化に向けた取り組みとして，金型の洗浄条件も併せて検討した。

*　素材応用技術支援センター
**　研究開発センター
　　レーザー・ナノテク研究室
***　研究開発センター
****　サンアロー新潟工場

2．射出成型用金型の試作と射出成型試験

2.1　加工機

金型の加工には，ながおか新産業創造センターに設置されているファナック㈱の超精密加工機ROBONANOα-0iA（以下「ROBONANO」という。）を用いた。図1にROBONANOの外観を示す。加工ユニットは，製品の量産化を考慮し，加工速度の大きいシャトルユニットを用いた。シャトルユニットはリニアモータとピエゾ素子の上下により，最高で1秒間に3本の溝加

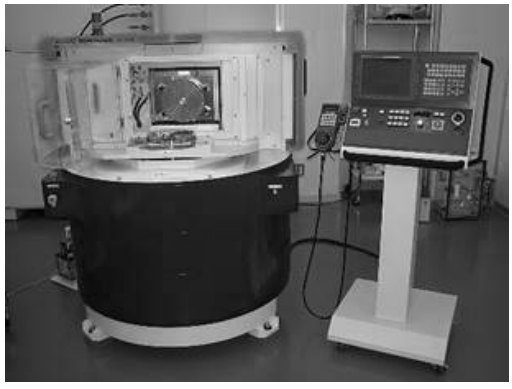


図1　ROBONANO外観図

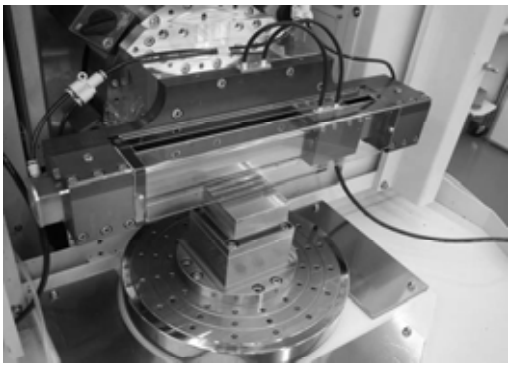


図 2　シャトルユニット加工

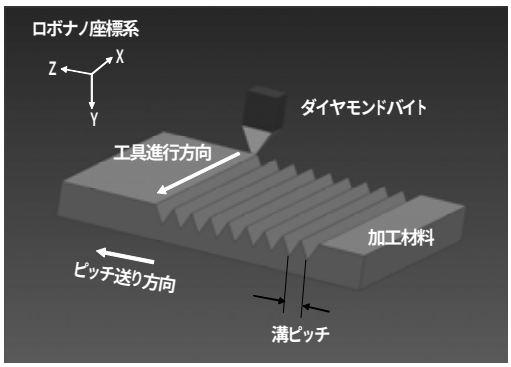


図 3　加工の概略図

工を行うことができる。図 2 にシャトルユニットの加工時の様子を，図 3 に加工の概略図を示す。加工面には無電解ニッケルめっきを行い，平面出し用バイトにて基準面を出した後，溝加工を行った。

2.2　加工方法の検討

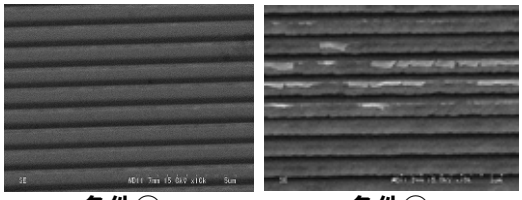
光の波長に近い微小な溝に光を当てると，光の干渉により虹模様が観察される。きれいな虹模様を得るためには，金型の溝にバリ・たおれなどの不良をなくすことが必要である [2)]。よって不良をなくす加工・仕上げ方法を検討するため，以下の方法で比較を行った。

①溝加工のみ（切り込み 0.5μm）
②溝加工①＋頂点のなぞり加工
③同じ溝を 3 回ずつなぞる加工

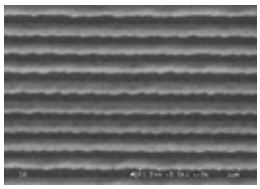
観察結果のまとめを表 1 に，電子顕微鏡（以下「SEM」という。）観察結果を図 4 にそれぞれ示す。なお溝ピッチはすべて 1μm ピッチである。①の条件では，加工部の大部分できれいな虹模様が観察できる。SEM 画像はバリのほとんどない部分のものである。②の条件では， SEM 画像のように仕上げの一部にバリが発生しており，虹模様にすじが見られる。③の条件も②と同様に SEM 画像でバリが確認でき，虹模様にすじが発生する。

表 1　観察結果の比較時の様子

条件	目視観察	電子顕微鏡
①	ほぼ全面虹模様	バリ少ない
②	虹模様にすじあり	バリ多い
③	虹模様にすじあり	バリ多い



条件①　　**条件②**



条件③

図 4　金型溝加工部 SEM 観察結果

比較結果から，きれいな溝を作るには仕上げなしの加工が一番であり，修正による不良部の除去はできないことがわかった。加工面すべてを仕上げなしで加工するには，溝加工前の基準面を平滑にすること，先端の鋭利な工具を使用することが重要となる。

2.3　溝間隔の検討

虹模様の色や光の強度は，加工する溝形状に依存する。よって，溝のピッチを決定するためには，干渉光の測定・評価を行う必要がある。そこで大塚電子㈱の MCPD100 を用い，干渉光の測定を行った。測定の方法は，光源の向きを固定し，受光カメラを 3°刻みで動かし，各角度における光の強度を測定した。測定の様子を図 5 に示す。

今回の干渉光測定には，1，2，3，5μm の溝ピッチの射出成型品を用いて比較した。それぞれの SEM 観察結果を図 6 に，干渉光測定結果

を図 7 にそれぞれ示す。横軸は図 6 の受光カメラの角度，縦軸は光の波長であり，測定した光の強度をプロットしてある。グラフは複数のライン状にプロットされ，右端のラインは光源の反射光，右下から左上に伸びるラインは干渉光である。濃い色で示されている点は光の強度が大きいことを表しており，その角度でどの波長の光が強かったか，つまり外観上の色が分かる。測定結果から，溝間隔が 3μm ピッチ以上の場合，干渉のラインが複数重なってしまうため，色がはっきりしなくなることがわかる。また，光の強度も弱くなり，シャープな色は観察されなくなる。一方，2μm ピッチ以下ではラインの重なりも少なく，強い干渉光が得られることがわかる。量産を考慮に入れると，同じ加工面積のときに 1μm ピッチの溝本数・加工時間は 2μm ピッチの 2 倍となることから，量産には 2μm ピッチが適正であると考えられる。

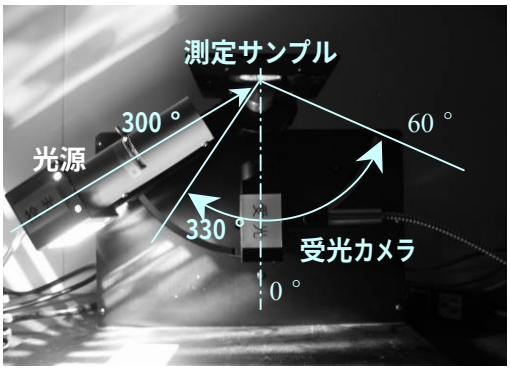


図 5　干渉光測定の様子

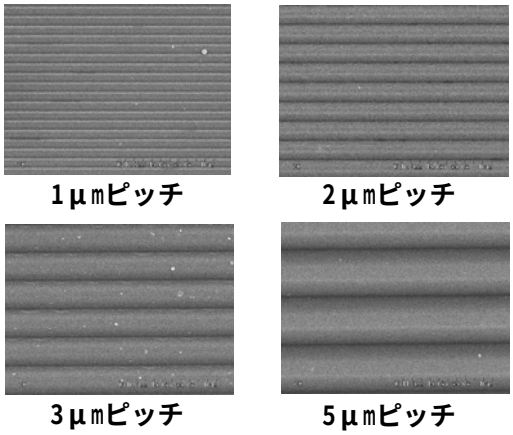
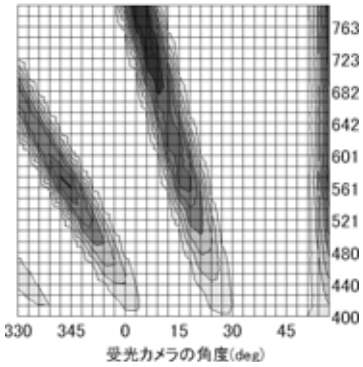
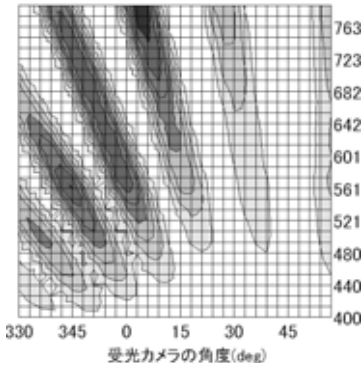


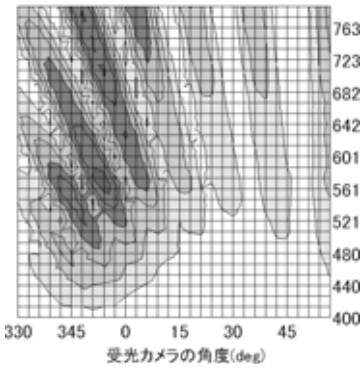
図 6　射出成型部品 SEM 観察



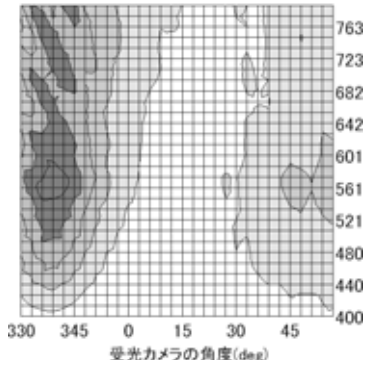
1μm ピッチ



2μm ピッチ



3μm ピッチ



5μm ピッチ

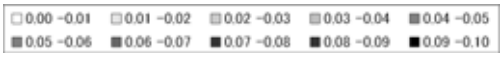


図 7　干渉光測定結果

3. 金型コマ汚れの分析

射出成型により金型に付着する，曇り状の汚れの分析を行った。分析用に，入れ子方式の金型コマ（φ10×H10mm）を作成して金型内に装着した。ポリカーボネート（以下「PC」という。）を 2 万ショット成型し，付着した汚れを分析に供した。金型コマの写真を図 8 に示す。

汚れの赤外分光分析（以下「IR」という。）測定例を図 9 に示す。測定は，パーキンエルマージャパン製フーリエ変換赤外分光分析装置 Spectrum One を使用した。IR では 2924, 2853cm^{-1} に飽和炭化水素の C-H 伸縮振動, 1744cm^{-1} にエステルに帰属される C=O 伸縮振動の吸収が認められた。

ガスクロマトグラフ質量分析（以下「GC/MS」という。）では，金型コマ汚れの溶剤抽出物の分析を行った。溶剤はジクロロメタン，トルエン，テトラヒドロフラン（THF），酢酸エチルを使用した。測定には日本電子(株)製ガスクロマトグラフ質量分析計 AutomassⅡ50 を用いた。GC/MS では，フェノール系酸化防止剤，ビスフェノール A（PC 原料）などが同定された。

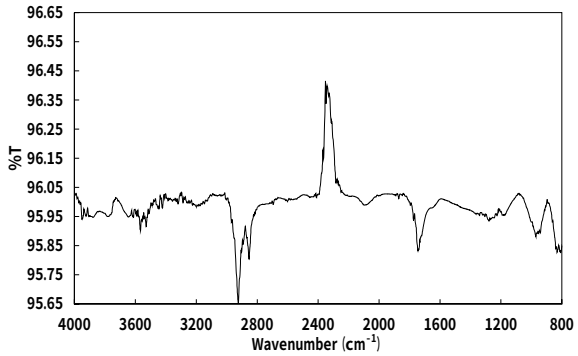


図 9　金型コマ曇り，IR 測定

IR，GC/MS の結果から，金型汚れは単一の物質ではなく，PC 分解物,添加剤等の混合物であることがわかった。

4. 金型洗浄の検討

4.1　金型コマのアルカリ洗浄

金型コマ汚れのアルカリ洗浄を検討した。使用したアルカリ液の組成を表 2 に，洗浄条件を表 3 に示す。

弱アルカリの条件 1 では，洗浄効果は見られなかったが，条件 2 では汚れは除去された。浸漬により膜状の汚れの剥離が進行し，超音波洗浄により脱落する様子が観察された。金属顕微鏡写真を図 10 に示す。洗浄後，金型表面には射出成型に起因する表面の荒れが認められた。

4.2　金型のアルカリ洗浄

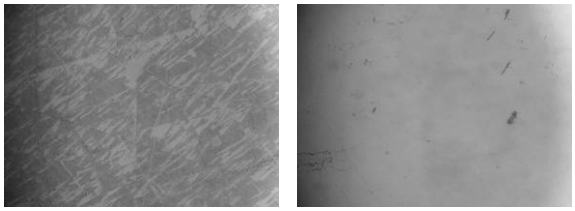
金型コマの結果を踏まえ，金型のアルカリ洗

表 2　アルカリ液組成

	組　成		pH
1	炭酸水素ﾅﾄﾘｳﾑ(NaHCO3) 界面活性剤	50g/l 5g/l	8.0
2	ﾒﾀｹｲ酸ﾅﾄﾘｳﾑ(Na2SiO3･9H2O) ﾍｷｻﾒﾀﾘﾝ酸ﾅﾄﾘｳﾑ((NaPO3)6) 界面活性剤	 10g/l 5g/l	12.4
3	ﾒﾀｹｲ酸ﾅﾄﾘｳﾑ(Na2SiO3･9H2O) ﾍｷｻﾒﾀﾘﾝ酸ﾅﾄﾘｳﾑ((NaPO3)6) 水酸化ﾅﾄﾘｳﾑ(NaOH) 界面活性剤	 10g/l 10g/l 5g/l	14.0

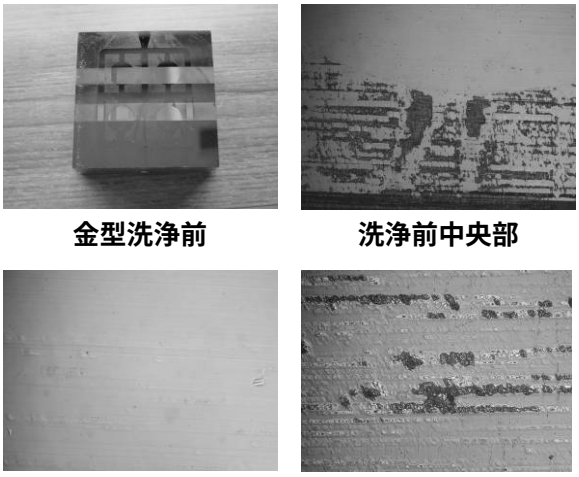
表 3　金型コマ，アルカリ洗浄条件

	洗浄液	洗浄条件
1	1	60℃，1時間浸漬，10分超音波
2	2	〃



洗浄前　　**洗浄後**

図 10　金型コマ金属顕微鏡(×400)



金型洗浄前　　洗浄前中央部

洗浄後中央部　　洗浄後端部

図 11　金型写真，金属顕微鏡(×100)

表 4　金型，アルカリ洗浄条件

	洗浄液	洗浄条件
1	2	60℃，1時間浸漬，　10分超音波
2	2	60℃，1時間浸漬，　1時間超音波
3	2	60℃，24時間浸漬，10分超音波
4	3	60℃，1時間浸漬，　10分超音波

浄を行った。金型は，母材に無電解ニッケルめっき（約 100μm）をし，その後 ROBONANO で溝加工を行ったものである。この金型で，PC を 4 万ショット成型した。金型写真，金属顕微鏡写真を図 11 に示す。金型コマでは，曇り状に汚れが付着していたのに対し，金型では焼け，樹脂分解物が強固に付着していた。

洗浄条件を表 4 に示す。このうち，条件 3 で良好な結果が得られた。洗浄後の金型では，端部で最後まで汚れが残ったが，端部の汚れは，実用上問題は少ないものと考えられる。

条件 1 では浸漬時間の不足により，汚れの除去は十分ではなかった。条件 2，条件 4 では，金型表面にピット状の荒れが発生して，過度の超音波洗浄，強アルカリは逆効果であることがわかった。

5．結　　言

微細加工による加飾を施したキーシートの作成を目的に，射出成型用金型の研究を行い，以下のことがあきらかになった。

(1) シャトルユニットによる加工では，溝の修正はできないため，溝加工は一度の加工で行わざるをえない。そのため，バイトの鋭さ，加工面の平面出しが重要になる。

(2) 2μm 以下の溝ピッチであれば強い干渉光を得ることができる。量産を考慮に入れると，2μm ピッチの加工が適正なピッチと考えられる。

(3) 金型に付着する曇り状の汚れの分析を行い，汚れは PC 分解物,添加剤等の混合物であることがわかった。

(4) 金型の洗浄条件を検討し，アルカリ洗浄で汚れが除去可能である事を見いだした。

参考文献

1) http://www.computerworld.jp/news/mw/52310.html,
「computerworld.jp ホームページ」
IDG ジャパン　2006 年 11 月 13 日

2) 坂井朋之他，“マイクロ・メゾ領域における小型・超精密加工技術に関する調査研究（第 2 報）”，工業技術総合研究所工業技術研究報告書，No.35，(2006)，p.67-72