

# 鋼球ラップ盤による Co-Cr-Mo 合金骨頭の研磨技術確立\*

飯村 崇\*\*、長嶋宏之\*\*\*、白井光一\*\*\*\*

人工股関節の骨頭は、ステムとの接続のためテーパ穴が加工されており、ラップ盤の適用に際して、球の回転が阻害され加工が円滑に進まないことが問題となる。

そこで、穴埋め治具を用いてラップ盤による研磨加工を行ったところ、骨頭の全面を鏡面加工することが可能であり、その際の加工条件選定には、品川光学がレンズ加工において蓄積したノウハウが応用可能であることがわかった。

キーワード：Co-Cr-Mo 合金、人工骨頭、ラップ盤

## Polishing Co-Cr-Mo Alloy Artificial Femoral Head of Hip Joint with Steel-ball lapping machine

Takashi IIMURA, Hiroyuki NAGASHIMA and Koichi SHIRAI

The artificial femoral head of a hip joint requires a tapered hole for connecting the stem. The hole inhibits the lapping of the artificial femoral head, because it inhibits the rotation of the artificial femoral head.

In this study, a jig to fill the hole allows rotation and lapping of the artificial femoral head, and it leads to a mirror finish of the entire surface of the artificial femoral head. Furthermore, Shinagawa optics can use their own lens processing conditions for the lapping.

key words: Co-Cr-Mo alloy, artificial femoral head, lapping

### 1 緒 言

人工股関節の骨頭は、ステムとの接続のため、シャフトが付いているタイプとテーパ穴が加工されているタイプが存在する。このうちテーパ穴が加工されているタイプについては、球の外径を仕上げた後に穴の加工を行うと、加工時の荷重や熱により球が変形し精度が保てなくなるため、穴加工の後に球の仕上げ加工を行う必要がある。

品川光学ではテーパ穴タイプの骨頭のサンプル加工を実施しており、現在はこのテーパ穴を利用して骨頭を保持し、レンズ磨きと同様の方法で仕上げ加工を行っている。しかし骨頭を保持する治具と干渉するため、穴近傍は研磨パッドの接触回数が少なく加工が不均一となり、表面粗さの数値的には問題がなくとも外観上の評価を下げる（表面の光沢が微妙に異なる）原因となっており、改善が必要である。

この問題を解決するために、ベアリングの鋼球と同じラップ盤による加工法の適用を検討する

こととした。ラップ盤による加工の特徴として、次の3点が挙げられる。

- ① 球面全体を加工する加工法であり、磨きムラの解消が期待される。
- ② レンズ磨きと同様に遊離砥粒を用いる加工法であり、品川光学で培ってきたレンズや骨頭磨きにおける研磨剤の選定や加工条件の選定などのノウハウを活かし従来同様に高品質な表面粗さと形状精度を得ることができる。
- ③ 多数個の同時加工が可能であり、生産性の向上が可能である。

これら①～③により、ラッピングフィルム等で仕上げを行っている他社の加工方法に対し大きなアドバンテージがあると考えられる。しかし、ラップ盤の適用に際して、ステムとの接続に使うテーパ穴の存在により球の回転が阻害され加工が円滑に進まないことが問題となる。そのため、加工を行うにはこの穴を埋める治具が必要となる。

\* 平成 26～27 年度 医療・福祉機器等試作・開発支援事業「鋼球ラップ盤による Co-Cr-Mo 合金骨頭の研磨技術確立」

\*\* 素形材技術部

\*\*\* デザイン部

\*\*\*\* 品川光学（株）

本研究の目的は、ラップ盤を用いた加工を行うために穴埋め用の治具を開発し、品川光学で行ってきた従来加工品と同等レベルの表面粗さ及び形状精度で外観上の問題がない表面を実現することである。

## 2 加工および評価方法

開発する骨頭の形状を図1に示す。目標は表面粗さ Ra50nm 以下の達成と、穴周辺とそれ以外の部分において外観上差異がない研磨面を得ることである。開発手順を以下に示す。

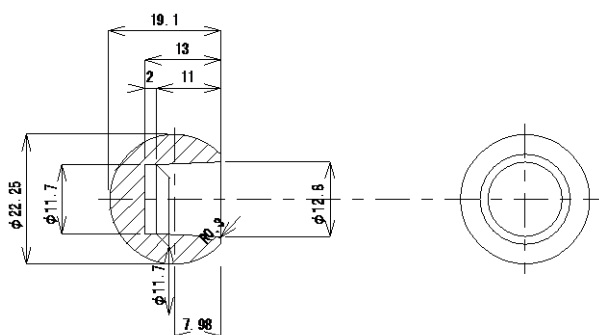
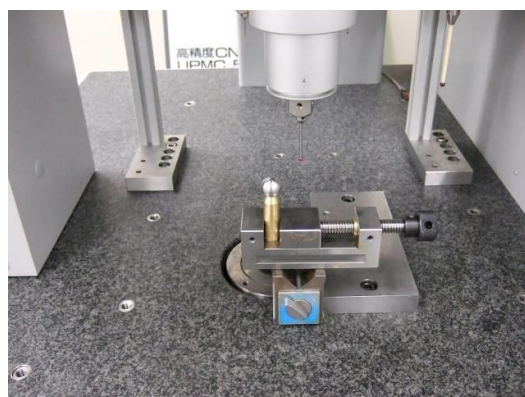
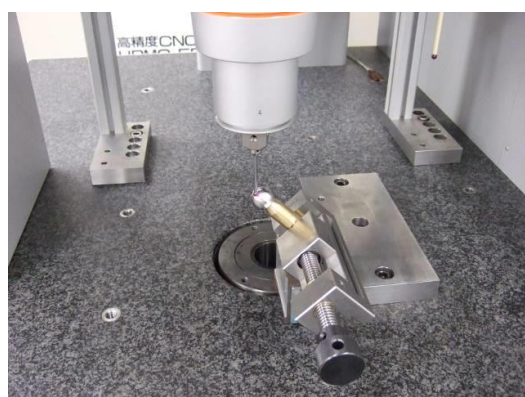


図1 骨頭の形状



a) 垂直



b) 45度傾け

図2 骨頭の形状測定方法

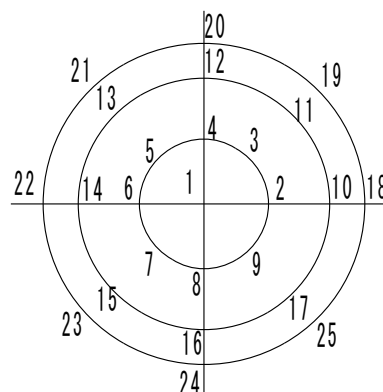
### 2-1 Co-Cr-Mo 合金丸棒の作成

骨頭及び穴埋め治具を作成するために必要な素材として、Co-Cr-Mo合金の丸棒(Cobarion® アロイ1 φ40)を(株)エイワにて作成。

### 2-2 骨頭の切削加工

骨頭の概形を切削加工により作成する。加工は、量産化の際にも加工を依頼可能な企業ということで、(株)サンセイ・イサワに委託する。

なお、形状の測定は三次元測定器(カールツァイス UPMC550CARAT)により行う。測定方法を図2に、測定ポイントを図3に示す。測定は25点(頂点+3断面、1断面当たり8点)をプローブにより接触測定する。また、骨頭の設置姿勢は骨頭の固定治具を垂直に立てた場合と45度傾けた場合の2種類について測定することにより、上半球のみではなく、穴近傍の真球度についても測定を行う。



1が頂点。測定は頂点+3断面で1断面当たり8点(合計25点)に対し実施。

図3 形状測定の測定ポイント

### 2-3 穴埋め治具の加工

ラップ盤による研磨を実施するため、骨頭に空いた穴を埋める治具(穴埋め治具)を作成する。穴埋め治具に必要な要素は次の通り。

○研磨を行った際、形状精度と表面粗さがよいこと。

○安価であること。(加工しやすい、再利用が可能など)

これらの要素を満足するために、3種類の穴埋め治具を試作する。

①Co-Cr-Mo合金製治具(骨頭と同じ素材を選定)

②アルミ合金製治具(加工の容易さから軟らかいアルミ合金を選定)

③樹脂製治具(3Dプリンタにて複数個同時に製造可能な樹脂を選定)

穴埋め治具の形状は、図4斜線部に示すとおり穴全面を覆うものとした。

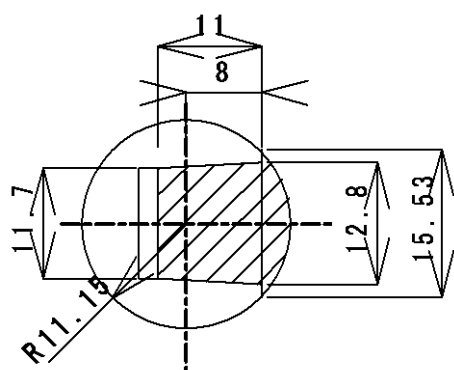


図 4 穴埋め治具形状



図 5 ラッピング装置

## 2-4 研磨実験準備

今回の研究では、両面に定盤を使用した両面ラップ加工のうち、定盤にパッドを張り付けたソフトポリッシング加工を用いることとする。ソフトポリッシングのメリットは、砥粒の切り込みを抑えて加工量を制限することで良好な表面粗さを出しやすくすることである。研磨装置には(株)東京電波にて社内用に開発されたラップ盤を使用する(図5)。

## 2-5 研磨実験と評価

骨頭の研磨実験は品川光学において行う。加工条件や研磨剤の選定などは、品川光学のレンズ磨きで培われたノウハウを使用する。加工後は次の3項目について評価を行う。

### a) 粗さ

Zygo社製のNewView100を用いて、研磨後の被削材の表面粗さの測定を行う。

### b) 形状精度

研磨後、三次元測定器(カールツァイスUPMG550CARAT)を使用して真球度を測定する。

### c) 外観

実際の骨頭においても、最終的な判断は目視であることから、外観についても検査を行う。特に、従来加工において問題となっていた穴近傍を重点的に確認する。

## 3 加工実験及び評価

### 3-1 Co-Cr-Mo 合金丸棒の作成

骨頭及び穴埋め治具を作成するために必要な素材として、Co-Cr-Mo合金の丸棒(Cobarion®アロイ1 φ40)を(株)エイワにて作成。



図 6 骨頭(切削)

表 1 切削加工後の形状測定結果

		D	S	MIN	MIN 位 置	MAX	MAX 位 置	真球度
垂直	W1	22.2876	0.0014	-0.0026	24	0.0021	19	0.0047
	W2	22.2882	0.0017	-0.0039	24	0.0033	18	0.0072
	W3	22.3071	0.0038	-0.0127	1	0.0045	6	0.0172
	W4	22.3056	0.005	-0.0168	1	0.005	8	0.0218
	W5	22.3074	0.0059	-0.0166	1	0.0066	7	0.0232
	W6	22.3031	0.0046	-0.0169	1	0.0049	5	0.0218
	W7	22.2904	0.0077	-0.0206	1	0.0103	12	0.0309
45 度 傾 け	W1	22.3244	0.0106	-0.0194	24	0.0171	18	0.0365
	W2	22.3078	0.0077	-0.0149	20	0.0158	19	0.0307
	W3	22.3118	0.0044	-0.0097	6	0.0057	5	0.0154
	W4	22.3086	0.0049	-0.0136	6	0.0086	18	0.0222
	W5	22.3235	0.0077	-0.0118	24	0.012	18	0.0238
	W6	22.3089	0.0048	-0.0135	6	0.0083	18	0.0218
	W7	22.3167	0.0066	-0.0148	11	0.0134	18	0.0282

### 3-2 骨頭の切削加工

加工条件等はサンセイ・イサワに一任し、加工

後の形状精度及び表面粗さの確認のみを工業技術センターにて行った(図6)。測定結果は表1のとおり。測定の結果、真球度は最大で $30\mu\text{m}$ 程度であり、切削加工としては良好な値であった。W3~W7について、垂直に固定した場合(頂点部分に旋削時の加工中心が来る固定方法)の測定において、頂点部分が周囲よりも $15\sim 20\mu\text{m}$ ほど低くなっている。頂点部分は切削速度が0に近くなることから、外周部分より加工が難しく、このような結果になったものと思われる。一方で被削材1と被削材2はこのような傾向がないことから、量産化時は被削材1と被削材2を加工した際の加工条件を採用するように依頼する必要がある。

### 3-3 穴埋め治具の加工

①Co-Cr-Mo合金製と②アルミ合金製の加工には大日金属工業(株)製のNC旋盤(DL530)を使用した。工具は京セラ社製のステンレスや耐熱鋼などの加工に使用されるCVDコーティング(CA6515)のVNMG160404MUを使用した。加工条件は表2のとおり。

表2 穴埋め治具加工条件

回転数	500rpm
送り	0.1mm/rev
切り込み	0.1mm
加工液	エマルジョン

③樹脂製の加工にはStratasys社製の3DプリンタFORTUS 360mc Sを使用。積層方向の影響を調査するために、対称軸を横にした場合と縦にした場合の両方について試作を行った(図7)。図8に加工した穴埋め治具を示す。



図7 樹脂の積層方向の違い

Co-Cr-Mo合金製については、切削工具の摩耗が大きく、形状が安定しないためにテーパ部分のばらつきが大きくなった。このため、条件を調整しながら必要数よりも多く製作した後、実際に骨頭にはめ合わせた際に、球として研磨可能なもののみを選定して使用することとした。



Co-Cr-Mo合金製 アルミ合金製 樹脂製  
図8 試作した穴埋め治具

### 3-4 研磨実験準備

○穴埋め治具材質の選定

初めに、①Co-Cr-Mo合金製・②アルミ合金製・③樹脂製の穴埋め治具を取り付け、ポリッシング時の被削材の回転の状況を確認した。その結果、樹脂製治具においては、骨頭と治具の比重の差が大きく、重心がずれるため良好な回転を得ることができなかった。これにより、全体の均一な研磨が妨げられる可能性があり、今回は樹脂製治具を使用しないこととした。また、同様の理由によりアルミ合金についても問題が確認されたので、アルミ合金製治具も試験的に1個のみ実験することとし、残りはCo-Cr-Mo合金製治具を使用することとした。

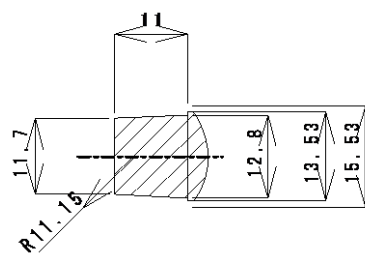


図9 穴埋め治具形状(改良後)

また、穴全体を覆う治具を使用したところ、エッジによってキャリアやパッドが削られるという問題が生じたことから、図4に示す穴全面を覆うものではなく、治具のエッジを旋盤で1mm落としたもの(図9)を使用することとした。

○キャリア形状の検討

図5の灰色の樹脂パーツ(周囲に歯車が切つてあるもの)を被削材を運ぶものという意味でキャリアと呼ぶ。ラップ盤の部品を作成するメーカーの推奨で、当初はキャリアの中央のみ被削材を入れる穴をあけたキャリアを用意したが、加工前のテストで被削材の動きが小さく、加工時間が長くなることが考えられることから、円周上に穴を追

加工しキャリアの回転運動で被削材が大きく移動する形状になるようにした。また、キャリア内でも研磨が進行するように、キャリアの穴にもパッドを張り、研磨剤が固定されるようにした。

表 3 研磨加工条件

1 回目 (加工時間 160min 11/5 実施)

	定盤の回転数 (rpm)	時間
工程 1	47~50	2 分×4 回
工程 2	84~90	1 分 15 秒×6 回
工程 3	84~90	6 分×10 回
工程 4	47~50	10 分 30 秒×7 回

研磨剤: アルミナ 1g に水を 100cc で溶かしたもの  
 研磨剤供給方法: 各回ごとに筆で塗布。研磨中は 5 秒に 1 滴程度の割合で被削材に供給

2-1 回目 (11/17~21)

	定盤の回転数 (rpm)	時間
工程 1	44~51	73 分
工程 2	48~52	91 分
工程 3	44~53	93 分
工程 4	46~54	103 分
工程 5	49~53	35 分

研磨剤: ダイヤモンドパウダー (0.5 $\mu$ m) 1g を水 100cc で溶かしたもの  
 研磨剤供給方法は 1 回目と同じ

2-2 回目 (11/25~28)

	定盤の回転数 (rpm)	時間
工程 1	46~48	18 分
工程 2	48~50	64 分
工程 3	46~48	66 分
工程 4	28~29	30 分
工程 5	28~30	40 分
工程 6	21~24	41 分

研磨剤: アルミナ (0.5~0.7 $\mu$ m 六方晶系) 1g を水 100cc で溶かしたもの  
 研磨剤供給方法は 1 回目と同じ。

### 3-5 研磨実験と評価

研磨実験を品川光学にて大きく分けて 2 回行った。砥粒と研磨条件の選定については、品川光学がレンズ研磨等で蓄積したノウハウを基に最適と考えられるものを使用しており、表 3 に示す通り。1 回目の実験は合計 160 分行った。2 回目の実験は合計 395 分+259 分で、1 回目の被削材をそのまま継続して使用し、粗さの向上を図った。また、2 回目は当初ダイヤモンド砥粒を用いたスラリーを作成し粗さの改善を図ったが(2-1 回目)、目視で粗さが悪くなることを確認。そこで再度アルミナ砥粒を用いた加工を行った(2-2 回目)。

表 4 形状精度

研磨 1 回目 (11/10 測定)

	被削材 No	D	S	MIN	MIN 位置	MAX	MAX 位置	真球度
通常	1	22.2876	0.0014	-0.0026	24	0.0021	19	0.0074
	2	22.2796	0.002	-0.004	1	0.0034	16	
	3	22.2967	0.0038	-0.015	1	0.0035	6	
	4	22.2984	0.0044	-0.0168	1	0.0044	6	
	5	22.2963	0.005	-0.0199	1	0.0039	9	
	6	22.2949	0.0051	-0.0193	1	0.0051	4	
	7	22.3015	0.0044	-0.0151	1	0.0041	15	
	平均	22.29457	0.004117					
45 度傾け	1	22.3244	0.0106	-0.0194	24	0.0171	18	0.0298
	2	22.3136	0.009	-0.0163	24	0.0135	25	
	3	22.306	0.0039	-0.0052	6	0.0063	18	
	4	22.304	0.0044	-0.01	6	0.0092	18	
	5	22.3063	0.0045	-0.0085	24	0.0094	18	
	6	22.3154	0.0068	-0.0114	24	0.0117	18	
	7	22.3019	0.0073	-0.0164	11	0.0126	18	
	平均	22.30787	0.005983					



研磨2回目 (2-2の結果) (11/28測定)

	被削材 No	D	S	MIN	MIN 位置	MAX	MAX 位置	真球度
通常	1	22.2876	0.0014	-0.0026	24	0.0021	19	0.0047
	2	22.2729	0.0027	-0.0073	1	0.0032	6	0.0105
	3	22.2891	0.0037	-0.0146	1	0.0031	15	0.0177
	4	22.291	0.0042	-0.0163	1	0.0039	2	0.0202
	5	22.2871	0.005	-0.02	1	0.0033	7	0.0233
	6	22.2876	0.0047	-0.0183	1	0.0041	6	0.0224
	7	22.2922	0.0052	-0.0183	1	0.0047	12	0.023
	平均	22.28665	0.00425					
45度傾け	1	22.3244	0.0106	-0.0194	24	0.0171	18	0.0365
	2	22.3093	0.0095	-0.0175	24	0.0134	14	0.0309
	3	22.2987	0.0045	-0.0086	2	0.0072	22	0.0158
	4	22.298	0.0048	-0.0121	2	0.0091	22	0.0212
	5	22.2991	0.0053	-0.011	2	0.0083	22	0.0193
	6	22.312	0.0077	-0.0116	20	0.0133	22	0.0249
	7	22.3009	0.0074	-0.0158	13	0.0136	22	0.0294
	平均	22.303	0.006533					

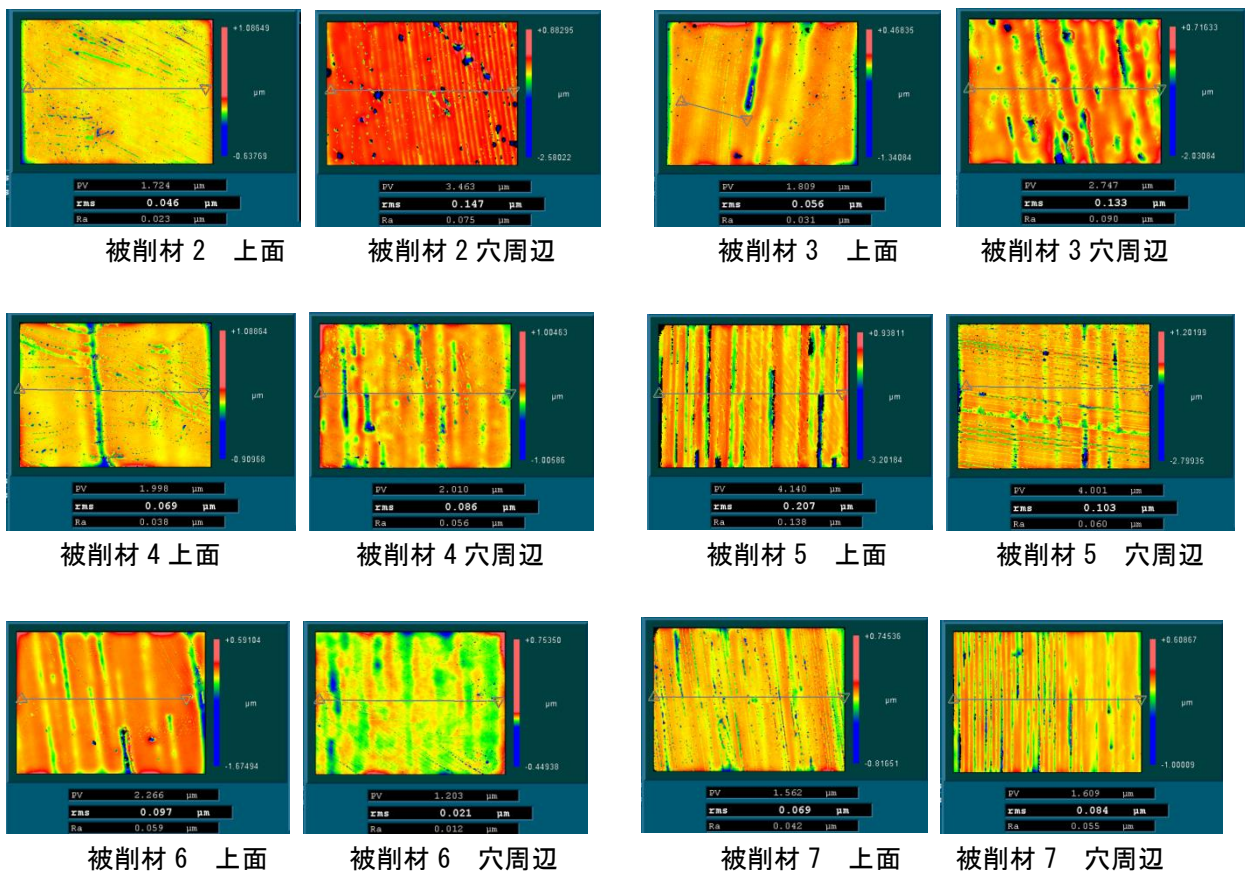
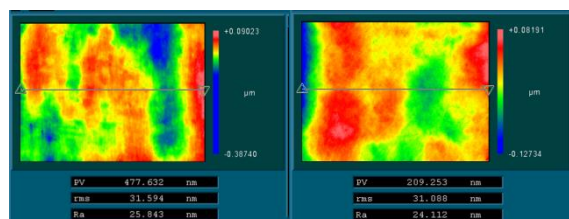


図10 研磨実験1回目の表面粗さ

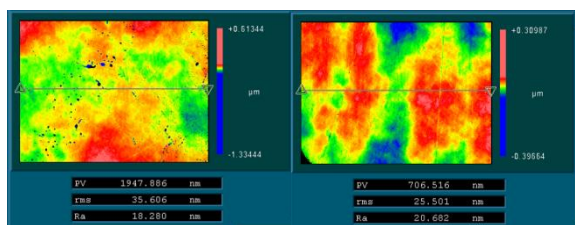
表 5 2 回目のアルミナ砥粒による研磨工程 (2-2 回目) と加工後の粗さの変化

	研磨時間	回転数 (rpm)	表面粗さ Ra (nm)					
			2	3	4	5	6	7
工程 1	1 8 分	46~48	102.591	77.854	63.03	63.051	49.018	74.384
工程 2	6 4 分	48~50	115.285	53.832	39.149	43.808	37.804	45.9
工程 3	6 6 分	46~48	65.622	45.997	33.678	34.612	33.381	39.62
工程 4	3 0 分	28~29	51.628	47.277	23.971	28.972	20.553	32.827
工程 5	4 0 分	28~30	46.003	37.581	18.509	22.031	13.18	26.523
工程 6	4 1 分	21~24	25.843	24.112	18.28	20.682	11.238	18.921



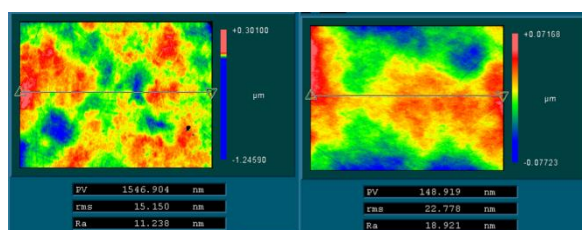
被削材 2

被削材 3



被削材 4

被削材 5



被削材 6

被削材 7

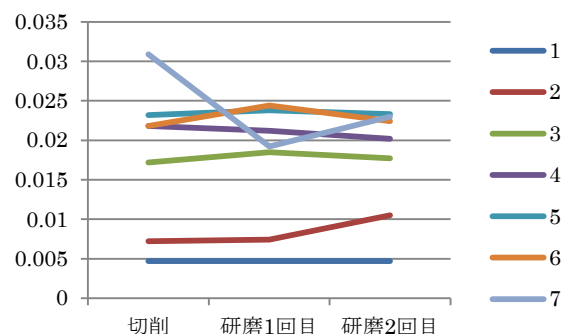
図 11 研磨実験 2 回目 (アルミナ砥粒による研磨) の表面粗さ

a) 粗さ

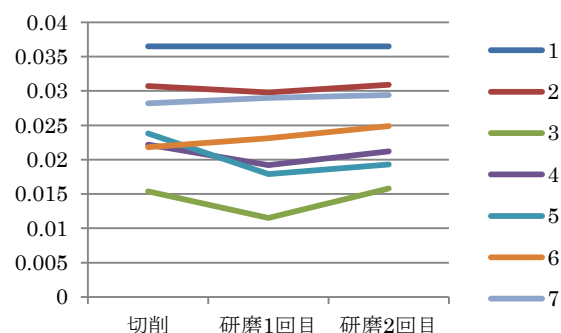
Zygo 社製の NewView100 を用いて、研磨後の被削材の表面粗さの測定を行った。1 回目の研磨実験後は頂点近傍と穴近傍において外観上も粗さの違いが判ることから 2 か所で測定を行った (図 10)。

研磨加工による改善はみられているが、被削材によってばらつきが大きいこと、穴近傍の粗さが頂点近傍よりも大きいことが確認された。これは研磨加工が不十分であるためと考えられる。そこで、条件を変え、2 回目の研磨加工を行った。当初ダイヤモンド砥粒で 6 時間半ほど研磨を行った (2-1 回目) が粗さの改善が見られず、目視ではむしろ

粗さが悪化したため、再度アルミナ砥粒を用いて粗さを測定しながら 4 時間 20 分研磨加工を行った (2-2 回目)。加工時間が増すにつれ表面粗さが大きく改善されていることが分かる (表 5)。また、ある程度粗さが良好になった時点で、仕上げ条件として研磨装置の回転数を 30rpm→20rpm と低くすることによってさらに良好な表面粗さが得られた。この作業により、図 12 に示す通りいずれの被削材についても切削痕が消えた Ra25nm (0.025 μm) の良好な表面粗さを得ることができた。



a) 垂直



b) 45 度傾け

図 12 真球度変化

b) 形状精度

三次元測定器を使用して、上側の半球の真球度を測定した。なお、被削材 1 は切削のサンプルと

して研磨を行っていない被削材であり、比較のためのデータである。測定の結果、図12に示す通り真球度については今回の研磨加工でほとんど変化しないことが確認できた。ソフトポリッシングは主に表面粗さの改善のために行われる加工法であり、加工量も少ないことから予想通りの変化である。このことから、今回の研磨方法では切削の段階であらかじめ真球度を高めておくことで形状精度の良好な骨頭が製造可能である。

#### c) 外観

図13は研磨加工後の骨頭である。切削に起因する表面の曇りは無くなり、全面が鏡面になっている。また、従来加工で問題となっていた穴近傍についても、ほかの部分との差異はなく、良好な鏡面となっている。



図13 研磨後の骨頭

## 4 まとめ

今回の開発研究により、当初の目的としていた調査内容については以下の結果が得られた。

①治具の材質：比重の関係で回転のバランスが取れなくなることから、比重の近い材料を使用する必要がある

②治具の形状：穴全面を覆う形状の場合、エッジが研磨パッド等に干渉しうまく削れないことがあるため、意図的にエッジを落とした形状を使用する。

③加工精度：研磨による形状精度の変化はほとんどないことから、切削の時点で真球度を高めておけば、研磨後も良好な真球度が得られる。

④治具の耐久性：今回はサンプル数が少ないことから、治具の耐久性に関する試験はできなかった。今回の開発事業により、穴埋め治具を用いてラップ盤による研磨加工を行うことで、骨頭の全面を鏡面加工することが可能であり、その際の加工条件選定には、品川光学がレンズ加工において蓄積したノウハウが応用可能であることがわかった。このことから、骨頭研磨において従来問題となっていた骨頭の穴周辺の粗さの問題を解決し、かつ複数個の骨頭を同時に効率よく研磨加工する加工方法が実用化され、加工時間・加工コストの大幅な低減が可能となり、今後のサンプル出荷や受注にも期待が持てる。