

高硬度材料の高精度高能率研削加工技術の開発

小松 利安・大柴 勝彦・大森 整*

Development of High Precision and Efficiency Grinding for Hard Materials

Tosiyasu KOMATU, Katuhiko OSHIBA and Hitoshi OHMORI

要 約

高硬度材料であるセラミックス、プラスチック射出成形用金型材および光学ガラスの加工における高精度・高能率化を図るため、ELID研削法を適用して実験を行った。その結果、セラミックスの表面粗さは、破壊靱性値が高いほど良好になる傾向を示し、電解条件により表面精度を向上させることができた。また、射出成形用金型材では、同一の加工条件でも材質の違いにより表面粗さが異なることが分かった。一方、光学ガラスの場合は複合砥石（ダイヤモンドとcBN）が有効であり、ELID研削後ポリッシング加工ができるので、加工工程の省略化に効果的であることが分かった。

1. 緒 言

現在、精密機器・電子機器等の主要部品にセラミックスが、金型材に熱処理したステンレス等が、また光学機器のプリズムやフィルタに多くの光学ガラス等、さまざまな高硬度材料が使用されている。

これらの加工に対する要求もまた年々厳しくなっている。例えば、プラスチック射出成形用金型では表面粗さがそのまま製品に転写されるため、金型表面の高品位化が必要であり、光学プリズム等では一層の低コスト化も求められている。

しかし、これら高硬度材料は難削性を示し、高精度・高能率な鏡面加工を行うには、多くの課題が残されている。従来これら難削性材料の高精度加工法として、ラッピング、

ポリッシング法¹⁾、メカノケミカルポリッシング法²⁾等が用いられている。しかし、これらの方法では加工時間は勿論、ラッピング加工工程からポリッシング加工工程へと加工機を移行する段取り作業があるために、時間を要するという問題点もある。

そこで本研究は、著者の一人である大森が開発したELID研削法³⁾を用いて、高硬度材の鏡面仕上げについて検討を行った。具体的には、ELID研削加工における表面粗さ、研削抵抗値、端面形状および平面度等を測定して、実用的に現場において必要とするデータを得ることを目的とした。

2. セラミックスのELID研削について

2-1 実験方法及び加工条件

本実験に用いた4種類のセラミックスは市販の材料で、表1にその特性を示す。すべての試料を60×15×5mmの寸法に切り出し、それぞれ研削治具にワックス（日化精工製：エレクトロンワックス）で固定した。

加工実験は、精密平面研削盤（カールユング社製：JF520）を用いた。荒加工用砥石は#325、中仕上げには#1000、仕上げ用には#4000の鑄鉄ボンドのダイヤモンド砥石を使用した。加工条件及びELID電解条件は昨年度の研究報告⁴⁾と同様である。ELID研削用砥石は、WA#400の砥石でツルーイングした後、30分程度初期電解ドレッシングを行った。

それぞれのセラミックスに対して、連続研削を行った時の研削抵抗値、仕上加工後の表面粗さ、端面のだれ深さおよびだれ幅を測定した。研削抵抗値は研削動力計（佐藤マシナリー製：AST-ZGS1）、表面粗さは、試料中央部分を

表1 セラミックスの特性

項目	材料	Al ₂ O ₃	SiC	ZrO ₂	Si ₃ N ₄
密度 (g/cm ³)		3.9~4.0	3.10~ 3.18	6.05	3.1~3.2
硬 度 (GPa)		17.7~ 18.6	27.5	12.7	13.7~ 15.2
弾 性 率 (GPa)		294.2~ 392.3	402.1	205.9	225.6~ 323.6
破壊靱性 (MN/m ^{3/2})		3.5~4.5	3.0	8.0~12.0	5.3~7.0
熱伝導率 (W/mk)		25~31	87	3.3	27

* 理化学研究所（素形材工学研究室）

非接触式表面形状測定機（ワイコ社製：TOPO-3D）で、端面のだれ深さおよびだれ幅は、接触式表面粗さ計でそれぞれ測定した。

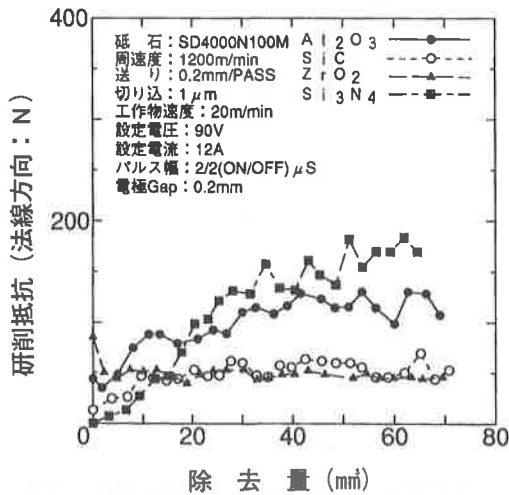


図1. 各セラミックスの仕上げ加工時の研削抵抗値

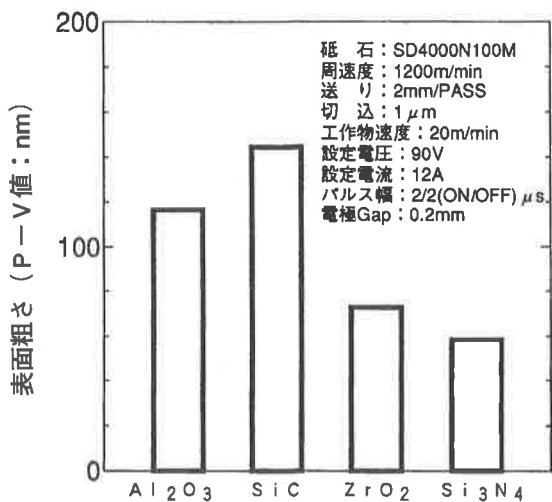


図2. 仕上げ加工後の表面粗さの変化

2-2 結果及び考察

2-2-1 被削材の影響について

図1に各セラミックスの研削抵抗値の変化を示す。炭化けい素とジルコニアはほぼ50Nで一定になっているが、アルミナと窒化けい素は100N以上を示し、不安定であった。

図2に表面粗さを、図3に端面のだれの測定結果を示す。図2より炭化けい素の表面粗さが最も悪く、表1の破壊靱性値が高い材料ほど、表面粗さは低くなる傾向であることが分かった。図3から、図1に示す研削抵抗値が一定である試料はだれにくく、不安定なものはだれやすい傾向であることが分かった。特に窒化けい素はだれやすく、研削しにくいことが分かった。

2-2-2 砥石周速度の影響について

研削抵抗実験（図1）で対照的な挙動を示した炭化けい素と窒化けい素の研削について、砥石周速度を900～1500m/minに変化させて実験を行った。図4に表面粗さ、図5にだれの測定結果を示す。炭化けい素は砥石周速度が増加するほど表面粗さは向上するが、端面のだれ深さは逆

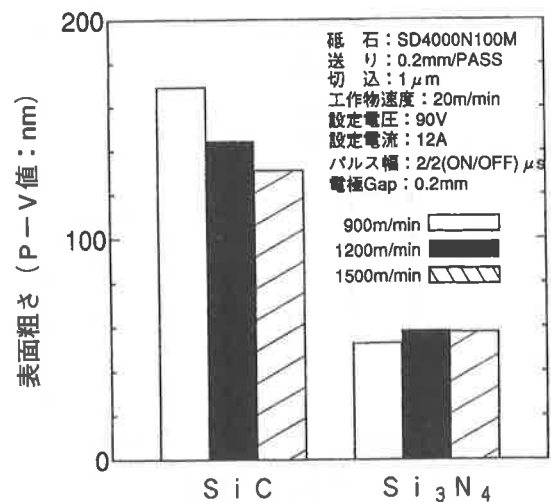


図4. 砥石周速度による表面粗さの変化

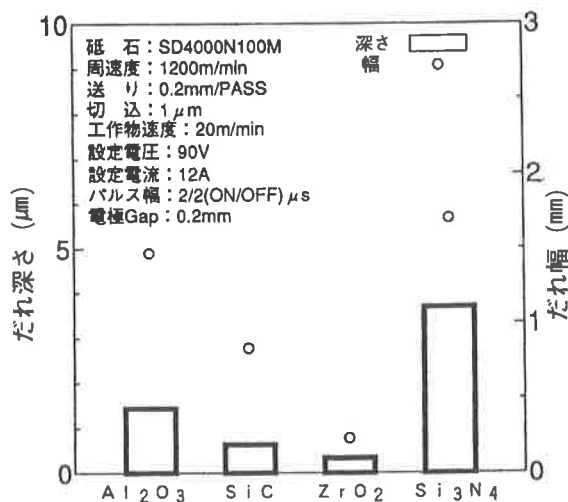


図3. 仕上げ加工後の端面形状の変化

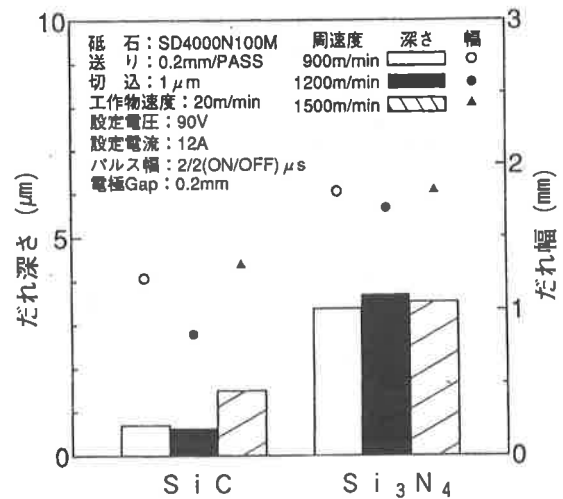


図5. 砥石周速度による端面形状の変化

に悪くなった。一方、窒化けい素は炭化けい素と比較して、砥石周速度の変化が表面粗さや端面形状に影響を与えないことが分かった。炭化けい素のだれ深さは、炭化けい素の2～5倍程度大きく、砥石周速度の変化だけでは研削性が向上しないことが分かった。

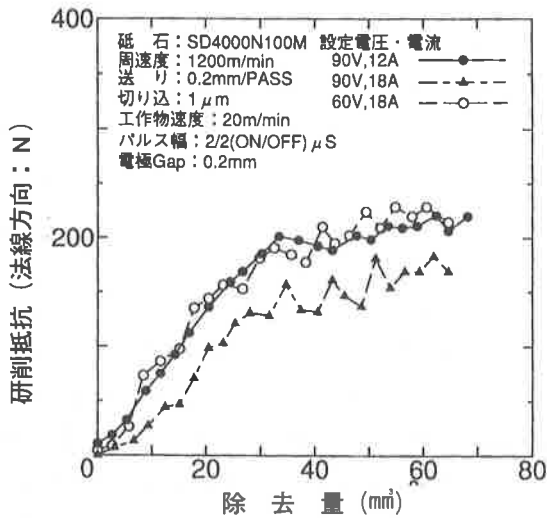


図6. 電解条件による研削抵抗値の変化

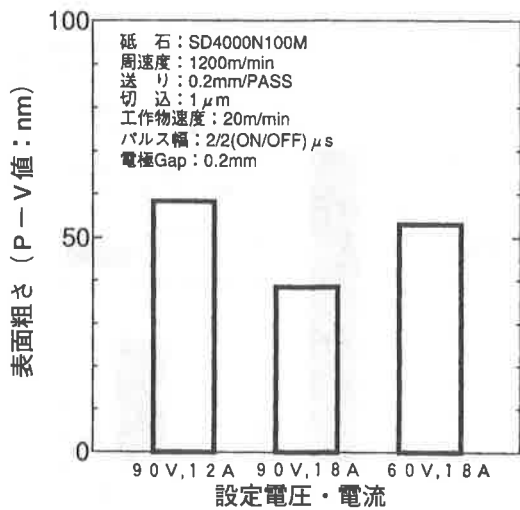


図7. 電解条件による表面粗さの変化

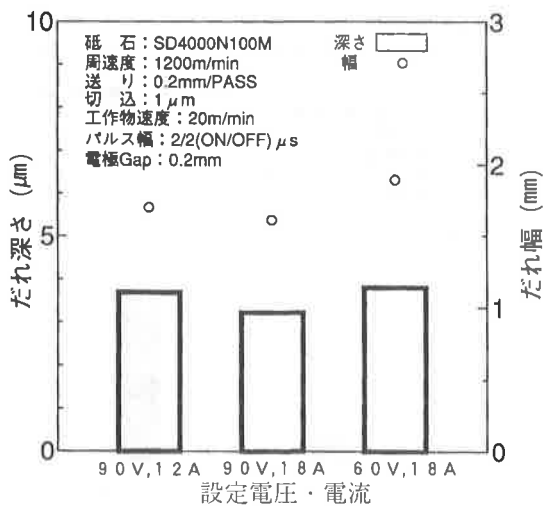


図8. 電解条件による端面形状の変化

2-2-3 電解条件の影響について

4種類のセラミックスの中で、特に難加工性を示した窒化けい素の加工条件について検討を行った。切込量を少なくすれば研削抵抗は低下するが、できるだけ加工能率を落とさないために、ELID電源の設定電圧・電流値を変化させて砥石表面の不導体被膜を形成させる方法を検討した。

そこで、初期電解条件を90V, 12Aと90V, 18Aおよび60V, 18Aに変化させて実験を行った。研削抵抗値、表面粗さ、および端面形状を図6～8に示す。他と比較して90V, 18Aの場合は研削抵抗値で約50N、表面粗さで3/4程度低下している。端面も若干ではあるがだれが小さくなっていた。セラミックスの研削では、砥石の目つぶれが起きやすく、大電圧・大電流で電解を行わないと砥石の切れ味が保持できないために、このような結果が得られたと考えられる。

3. プラスチック用金型材のELID研削について

3-1 実験方法及び加工条件

本実験に用いた3種類の試料は、すべて熱処理を施したSUS403（マルテンサイト系ステンレス）、SKD12およびSKD61（合金工具鋼）であり、それらの特性を表2に示す。

試料寸法は40×40×20mmである。使用した砥石は鑄鉄ボンドのcBN砥石で、加工条件等はセラミックスの実験と同様である。金型で問題になる表面精度に重点をおき、表面粗さについて測定した。

表2 金型材の特性

材料項目	SUS403	SKD12	SKD61
耐力 (GPa)	0.205～	0.825～	0.725～
引張強さ (GPa)	0.44～	0.93～	0.86～
硬度 (HRC)	61.7	66.1	62.0
添加元素 (%)			
C	～0.15	0.95～1.05	0.32～0.42
Cr	11.5～13.5	4.50～5.50	4.50～5.50
Mo	—	0.80～1.20	1.00～1.50
W	—	—	1.00～1.50
V	—	0.20～0.50	0.20～0.60

3-2 結果および考察

3-2-1 #4000と#8000の比較

始めにセラミックスと同様に#4000の砥石で研削したが、セラミックスと比較すると、若干表面粗さが悪い。そのため、さらに#8000の砥石でELID研削した。図9に#4000と#8000の表面粗さの比較を示す。いずれの試料も#8000の方が1/2以下の値になった。砥粒の平均径は#4000が約4μmに対し#8000は約2μmであることから、この

結果が得られたと考えられる。

3-2-2 加工条件の影響について

図10に#8000の砥石を用いた時の砥石周速度と表面粗さの関係を示す。SUS403は砥石周速度を落とした方が表面粗さも良くなるが、SKD材では、あまり大きな差が見られ

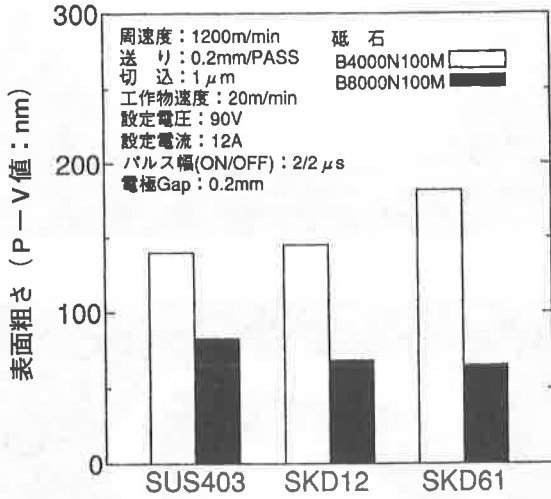


図9. 砥石番程による表面粗さの比較

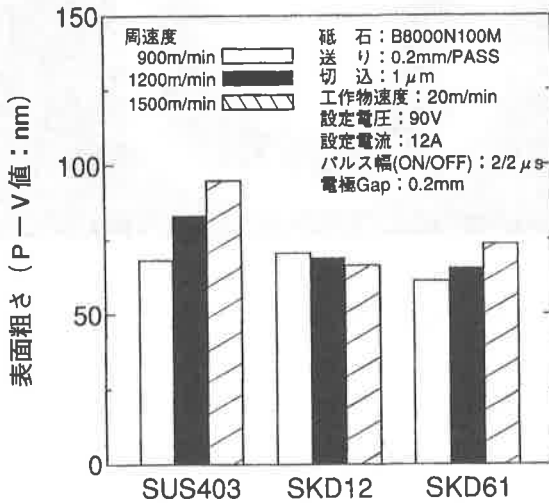


図10. 砥石周速度による表面粗さの変化

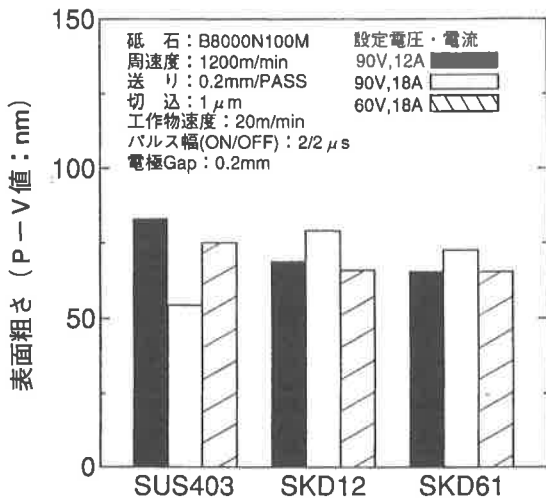


図11. 電解出力条件による表面粗さの比較

なかった。

次にELID電解条件を変化させて実験を行った。セラミックスの場合と同様に電解出力を90V, 12Aと90V, 18Aおよび60V, 18Aに変化させた。図11にその結果を示す。SUS403では大電圧・大電流において、表面粗さは最も良くなるが、逆にSKD材のそれは、小電圧・小電流の方が良くなっている。

4. 光学ガラスのELID研削について

4-1 実験方法及び加工条件

実験に用いた2種類の光学ガラスは市販の材料で、表3にそれらの特性を示す。BK-7は標準的な光学用ガラス、SF-2は高屈折率が必要なプリズム等に用いられているが、欠けやすく加工しにくいガラスである。

表3 ガラスの特性

材料項目	BK-7	SF-2
密度 (g/cm ³)	2.51	3.86
硬度 (GPa)	5.41	3.73
弾性率 (GPa)	81	55
熱伝導率 (W/mk)	1.114	0.735
屈折率 (nd)	1.52	1.65

両試料を30×30×25mmに切り出し、それぞれ研削治具にワックスで固定した。砥石は鑄鉄ボンドのダイヤモンド、cBN砥石、およびダイヤモンドとcBN砥粒を1:1で混合した複合砥石の3種類を使用した。

4-2 結果および考察

4-2-1 砥石の影響について

図12に表面粗さ、図13に端面のだれの測定結果を示す。BK-7とSF-2を比較すると、表面粗さはいずれの砥石の場合もSF-2の方が1.5倍程度悪くなっている。これは表3からSF-2の方が硬度、弾性率共に低いため、砥粒がより食い込みやすかったため⁹⁾と考えられる。だれの測定結果は逆にSF-2の方がBK-7と比較して良くなっている。

ダイヤモンド、cBNおよび複合砥石の三者を比較すると、BK-7の場合は、ダイヤモンド砥石は表面粗さが小さくなるものの、端面のだれが大きくなる傾向を示し、逆にcBN砥石は、だれは小さいが表面粗さが悪くなっている。またSF-2の場合は、表面粗さはほとんど変わらないが、cBN砥石の方がダイヤモンドよりだれやすくなっている。総合的に表面粗さ、端面のだれの結果が良好なのは複合砥石であった。

4-2-2 加工工程の省略化

ELID研削で加工工程の省略化が可能かどうか確認する

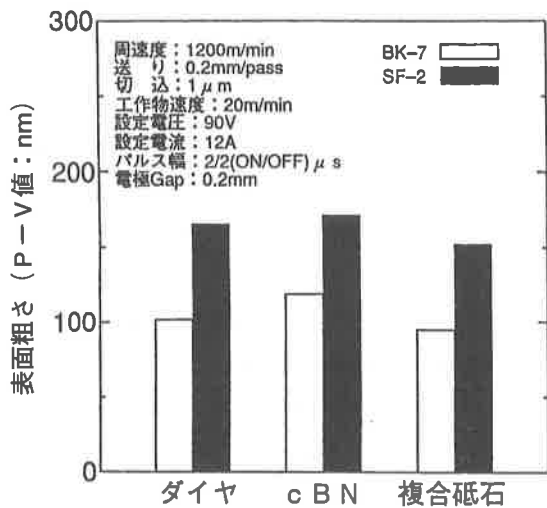


図12. 光学ガラスの表面粗さの変化

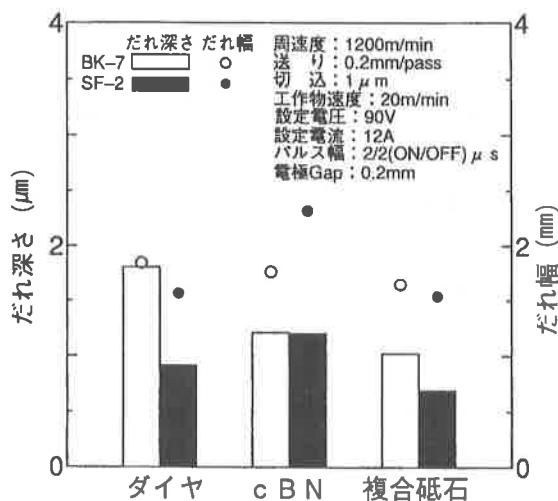
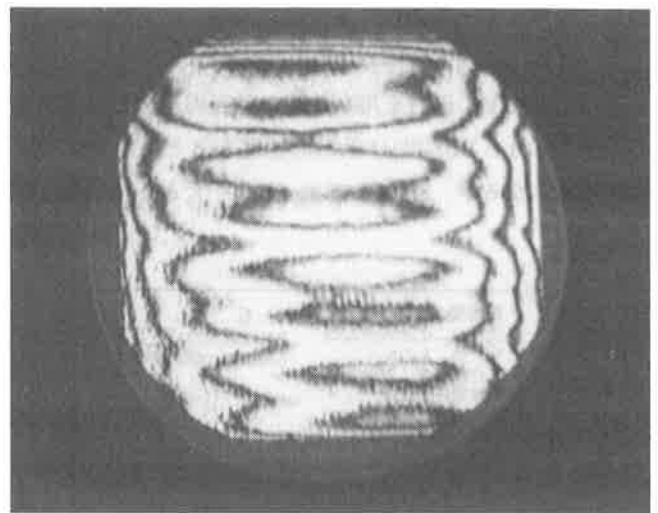
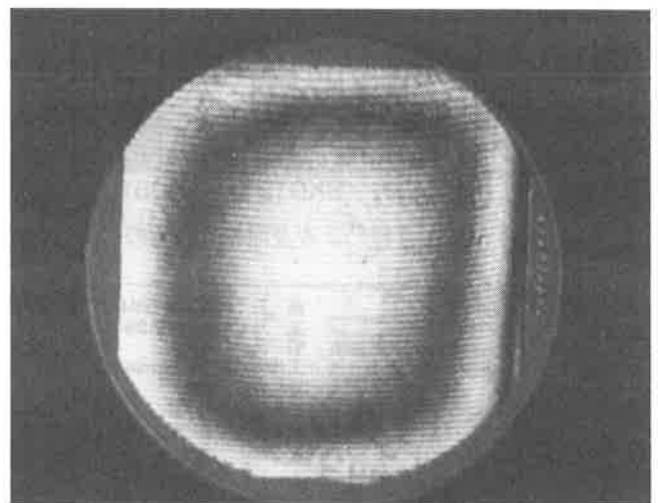


図13. 光学ガラスの端面形状の変化



(a) ELID研削後



(b) ポリッシング後

図14. ELID研削とポリッシングの平面度

ために、BK-7をダイヤモンド砥石を用いて約15 μ m ELID研削を行い、ラッピング工程を省略して、#1600の酸化セリウムで20minポリッシング加工を行う実験をした。図14にレーザ干渉計(zygo社製:PTI, $\lambda = 632.8\text{nm}$)で測定したBK-7の結果を示す。ELID研削後の加工面は3/2~2波長分のうねりがみられるが、ポリッシング後は1/2波長内の平面度が得られた。この結果から、ELID研削法は加工工程の省略化に有効であることが確認できた。

5. 結言

高硬度材料であるセラミックス、プラスチック射出成形用金型材および光学ガラスのELID研削について実験を行い、得られた結果を要約すると次のことが確認できた。

- 1) 4種類のセラミックスを比較すると、破壊靱性値の高い材料ほど表面粗さが良くなる傾向であることが分かった。
- 2) 金型材の材質によって同一の加工条件でも表面粗さが異なることが分かった。
- 3) ガラスのELID研削には、ダイヤモンドとcBNの複合砥

石が、表面粗さや端面のだれに関して有効であり、また、ラッピング工程の省略が可能であることが分かった。

なお、本研究で使用した精密平面研削盤は、平成6年度日本小型自動車振興会の補助で設置したものです。

参考文献

- 1) 河西敏雄：超精密生産技術大系第2巻 実用技術，フジ・テクノシステム，1038
- 2) 安永暢男：超精密生産技術大系第2巻 実用技術，フジ・テクノシステム，1087
- 3) 大森整，他1名：超精密鏡面加工に対応した電解インプロセスドレッシング(ELID)研削法，精密工学会誌，59，9，(1993)，1451
- 4) 山梨県工業技術センター研究報告：ぜい性材料の精密研削における加工条件と評価技術の確立(第2報)，(1994)
- 5) 海野邦昭：CBN・ダイヤモンドホイールの使い方，工業調査会，69