

多結晶ダイヤモンド砥粒の形状と研磨特性

内山 智幸、尾谷 賢、蓑嶋 裕典
 松嶋 景一郎、篠原 邦夫*、柴田 俊春*
 穂山 勝**、平井 明彦**、東嶋 成秋**

The Effect of Particle Shape on Lapping by Polycrystal Diamond Grain

Tomoyuki UCHIYAMA, Masaru OTANI, Hironori MINOSHIMA
 Keiichiro MATUSHIMA, Kunio SHINOHARA*
 Toshiharu SHIBATA*, Masaru AKIYAMA**, Akihiko HIRAI**
 Shigeaki TOJIMA**

抄 録

本研究では、精密研磨加工に用いられる人工多結晶ダイヤモンド砥粒の性能向上を目的とし研磨特性に及ぼす粒子径及び粒子形状の影響について検討を行った。

粒子径と研磨特性の関係は、被研磨材と砥粒間における応力-歪み関係で説明され、研磨速度は粒子径の二乗に、また研磨における表面粗さは粒子径の一乗に比例する事を確認した。さらに、研磨速度は、従来、依存すると考えられてきた粒子径のみならず、マクロな粒子形状も大きく影響し、同一粒子径においても粒子形状の調整により研磨速度が高く、表面粗さも良好な砥粒の製造が可能である事が示された。また、研磨速度に関する実験式を導き、粒子形状から研磨速度の推定を可能とした。

1. 緒言

近年、粉体材料に対するユーザーのニーズは、集合体から粒子1個レベルでの粒子形状、粒子径、粒度、表面粗度など厳しいものになってきている。

粒子形状による粉体の力学的特性への影響に関しては、粒子径と同様に重要な幾何学的特性にも関わらず、評価すべき形状の特徴が多様であり、また粉体の調整加工技術においても、粒子1個レベルでの形状調整が困難なため、それらの関係についての報告¹⁾²⁾³⁾は数少ない状況にある。既報⁴⁾⁵⁾において、筆者等は簡便で且つマクロな形状の特徴を十分に表現できる評価法として投影粒子像輪郭座標をフーリエ級数展開し、指数化する方法(以下、フーリエ楕円近似法)を提案し、粒子形状と粉体物性の関係⁶⁾について明らかにし、粒子

形状は静的な物性に対して大きな影響を示す事を報告した。

本研究では、ハードディスク、磁気ディスク等の電子機器部品の高性能化に寄与する精密研磨加工に用いられる人工多結晶ダイヤモンド砥粒の性能向上を目的に、粉体の一次物性である粒子径及び粒子形状に着目し、静的物性としての研磨特性との関係について実験を行い、研磨機構の解析を行った。

2. 実験

2.1 試料

供試試料は、粒子径の異なる3試料及び粉碎条件を変えた形状の異なる多結晶ダイヤモンド((株)イズミテック製)4試料を用いた。表1及び2に各試料の物性を示す。

2.2 装置および方法

2.2.1 粒度評価

粒度評価は、レーザー回折散乱法(SALAD2000、(株)島津製

** 北海道大学物質工学専攻、** (株)イズミテック

表. 1 粒子径の異なる多結晶ダイヤモンド

試料	a	b	c
平均粒子径 (μm)	0.722	1.458	2.585
均一性 D25/D75(-)	0.68	0.68	0.72
密度 (kg/m ³)	3.52×10 ³		

作所製)および電気的検知法 (Coulter MultisizerII) にて計測を行った。また、粒度分布の均一性は電気的検知法による、D25/D75 の傾きを指標として評価を行った。

2.2.2 形状評価法

各試料は電子顕微鏡にて撮影後、その粒子像を CCD カメラ (KP-210 形 HITACHI 製) にて画像解析装置 (LUZEX3U、ニレコ製) に取り込み、二値化後その輪郭座標を検出した。評価粒子は 1 試料につき 20 個とし、15000 倍で撮影したものをを用いた。

粒子形状評価法は、既報⁴⁾ にて報告した投影粒子像輪郭の x、y 座標をフーリエ級数展開し、その第 1 項目のみにより求められた近似楕円の短長軸比を形状指数 K とし、さらに、この近似楕円と輪郭座標との半径方向の標準偏差を近似楕円と等周長円の半径 r_c で除した値を、表面粗度に対応する変動係数 C_{vr} としセミマイクロな形状指数として用いた。

形状指数 (K) : 粒子の投影全体の巨視的な形状指数

表面粗度 (C_{vr}) : 粒子像輪郭の凹凸、突起等を考慮した微視的な形状指数

2.3 研磨実験

2.3.1 研磨試験法

研磨装置は、精密平面ラップ盤 (Model LP-15 ラップマスター社製) を用いた。

本装置は、時計方向に回転する研磨定盤上に反時計方向に回転する被研磨材を固定した円形ホルダーを一定加重にて接触させ、その界面に一定濃度の砥粒が分散した水性スラリーを噴霧し、被研磨材の研磨特性を評価するものである。各実験の研磨条件を下記に示す。

(a) 粒子径と研磨特性

ワーク : サファイヤガラス、ラップ盤 : Kemmet 銅、
ワーク荷重 : 1400g / cm²
回転数 : 30rpm、スラリー濃度 : 8ct / 1

(b) 粒子形状と研磨特性

ワーク : フェライト、ラップ盤 : Kemmet 銅、ワーク荷重 : 290g / cm²
回転数 : 90rpm、スラリー濃度 : 8ct / 1

2.3.2 研磨特性の評価法

研磨特性は被研磨材の表面粗さ、および研磨速度について評価を行った。

表面粗さは、表面粗さ計 (SE-30D, (株) 小坂研究所製) にて平均粗さ R_a を測定し、研磨速度は、厚さゲージ (リニアゲージ (株) ミットヨ製) にて被研磨材の単位時間における厚さの減少度合を評価した。被研磨材の表面粗さ及び研磨速度は、1 試料につき 24 点測定し、その平均値を用いた。

3. 結果および考察

3.1 粒子径と研磨特性

図 1 に粒子径と研磨速度の関係を示す。図に示される様に、粒子径の増加に伴い研磨速度は向上することが示され、両者の関係は 2 次式にて近似された。

この理由は、研磨過程における被研磨材と砥粒間における応力 (σ) - 歪み (ε) の関係に基づくものと考えられる。一定濃度における被研磨材と定盤間に存在する砥粒数は粒子径の増加に伴い減少するが、粒子 1 点における応力は増加し、その結果被研磨材の歪みが増加する。研磨速度は、この被研磨材の歪みに相当する砥粒の断面積に依存するものと考えられ、研磨速度と粒子径の関係は 2 次式にて近似されるものと考えられる。

これらの関係は下記式にて考察される。

研磨速度 (S_{rr}) は、被研磨材の歪みにより生じる砥粒の埋没断面積 (ε²) に比例する。∴

$$S_{rr} \propto \epsilon^2 \quad (1)$$

被研磨材の歪みは、一定荷重下にある定盤と被研磨材間に存在する砥粒の応力により生じるもので、粒子一個の応力は粒

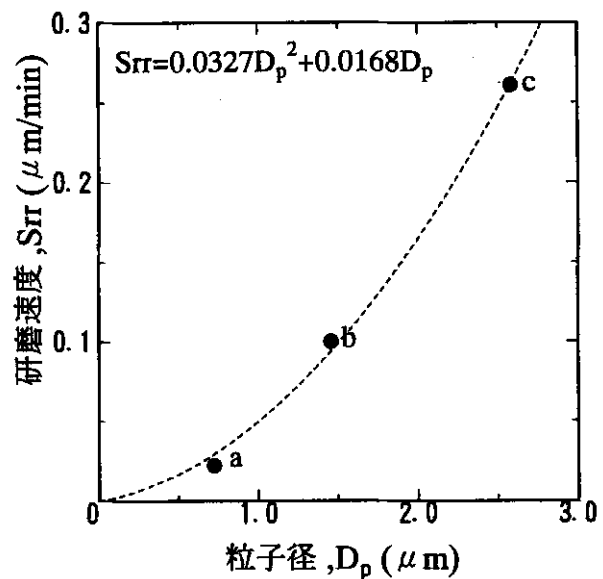


図1 粒子径と研磨速度の関係

子数 (N) および接触面積 (A) から以下の式より導かれる。

$$\sigma = F/NA \quad (2)$$

ここで、N および A と粒子径 (D_p) の関係は下記式にて表される。

$$N \propto 1/D_p^3 \quad (3) \quad A \propto D_p^2 \quad (4)$$

すなわち、 σ は下記の式にて表される。

$$\sigma = F/NA \propto FD_p^3/D_p^2 \propto D_p \quad (5)$$

ここで被研磨材の $\sigma - \varepsilon$ の関係を一次式と仮定する。

$$\sigma \propto \varepsilon \quad (6)$$

従って、 Srr は (1)、(5) 及び (6) 式より D_p の二乗に比例すると考えられる。

$$Srr \propto D_p^2 \quad (7)$$

図 2 に粒子径と表面粗さ (Sm) の関係を示す。図に示される様に、粒子径の増加に伴い表面粗さは直線的に大きくなることが示され、この関係は 1 次式で近似された。

この理由も、先の応力-歪みの関係に基づくものと考えられ、粒子径の増加に伴い、砥粒 1 点に架かる応力は増加し、被研磨材の歪みも増加する。すなわち表面粗さはこの歪み (砥粒の埋没深さ) に依存するもので、砥粒粒子径に一次で相関⁷⁾するものと考えられる。

すなわち、これらの関係は (5) (6) 式より以下に示される。

$$Sm \propto \varepsilon \propto D_p \quad (8)$$

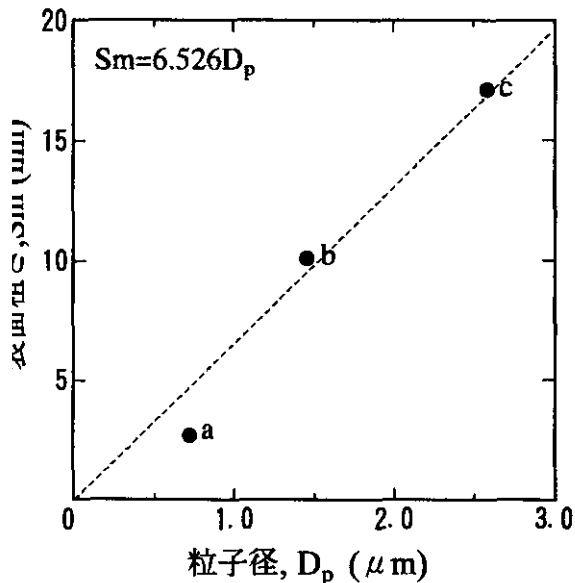


図2 粒子径と表面粗さの関係

図 3 に研磨速度と表面粗さの関係を示す。両者には良好な二次の相関関係が認められた。

すなわち、これらの関係は、前記した (7)、(8) 式より以下に示される。

$$Srr \propto Sm^2 \quad (9)$$

以上の結果より、遊離砥粒の性能は粒子径の増加に伴い、研磨速度は向上し、表面粗さは大きくなる事が明らかとなった。これらの結果は一般的な固定砥粒の研磨特性とも一致するものであり、研磨速度と表面粗さは相反する特性を示すものである。

3.2 粒子形状と研磨特性

被研磨材の研磨速度と表面粗さの関係は、3.1の実験で述べた様に粒子径に依存し、これらは相反する特性であることが示された。しかしながら、これら相反する特性を両立する砥粒が市場にて要望されている。このような性能を達成するためには、粒子径以外の一次物性の改善が必須と考えられており、特に、その可能性として粒子形状が期待されている。本実験においては、研磨砥粒の粒子形状に着目し、研磨速度、表面粗さとの関係について評価を行なった。

3.2.1 電子顕微鏡観察

図 4 に各種ダイヤモンドの SEM 像を示す。試料 A は視覚的な評価においては、異形粒子が比較的多く認められ、且つこれら粒子表面には細かな凹凸が顕著であった。試料 D は、対称且つ塊状の粒子形状が多く認められ粒子表面は鋭利な面が顕著であった。また、試料 B、C は、試料 A と D の中間的な形状を示していた。また、いずれの試料においても均一な粒子径を示していた。

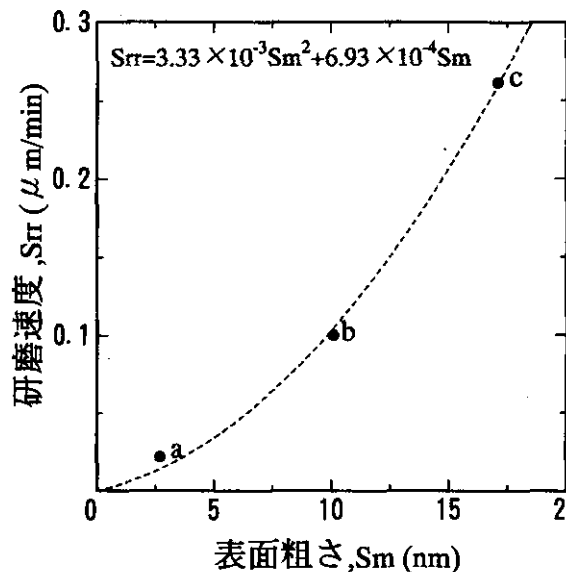


図3 表面の粗さと研磨速度の相関関係

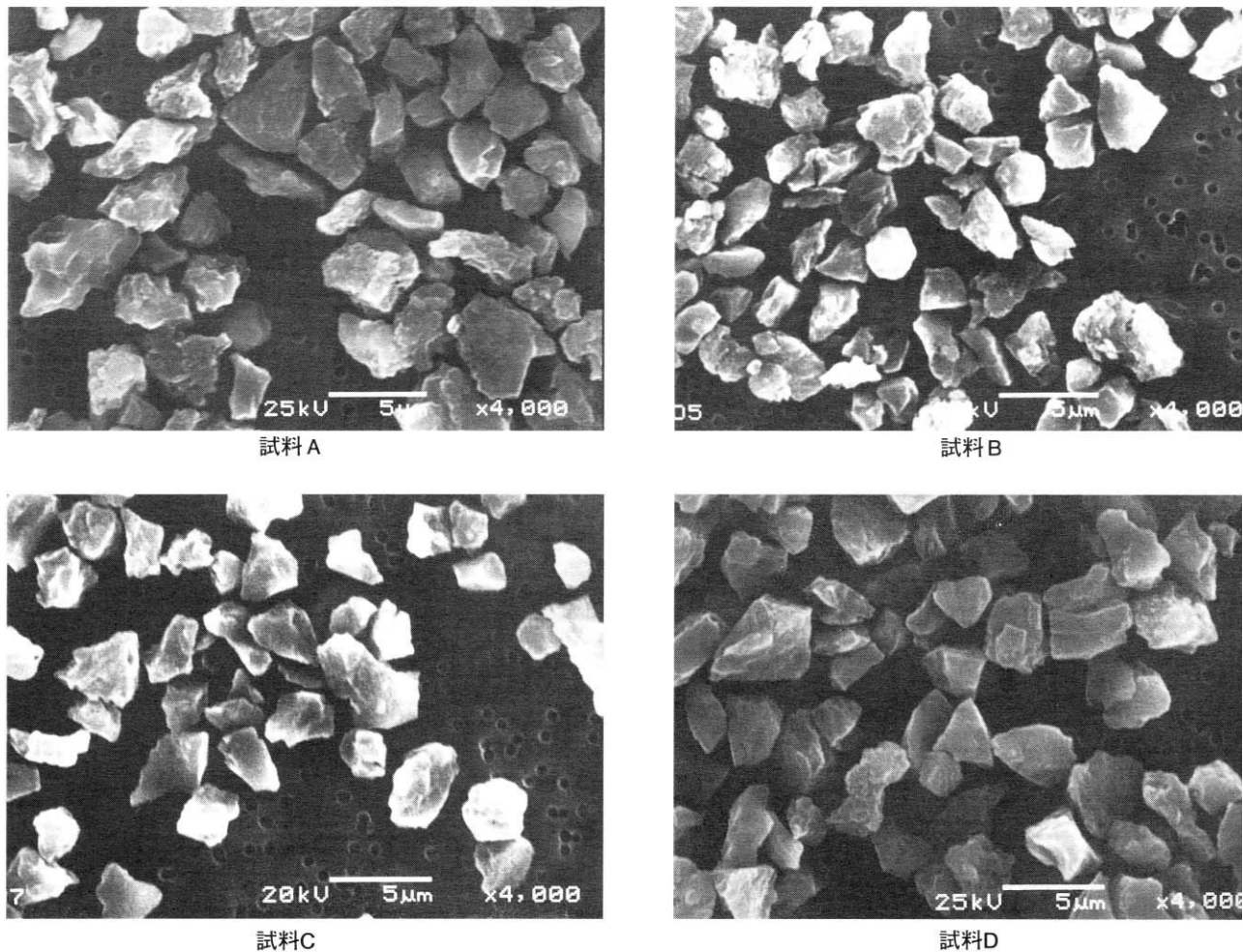


図4 形状の異なる多結晶ダイヤモンド砥粒

表. 2 粒子形状の異なる多結晶ダイヤモンド

試料	A	B	C	D
平均粒子径 (μm)	2.889	2.868	2.823	2.808
均一性 D25/D75 (-)	0.698	0.703	0.716	0.722
密度 (kg/ml)	3.52×10 ³			
形状指数, K (-)	0.702	0.725	0.786	0.803
表面粗度, C _{vr} (-)	0.109	0.112	0.101	0.098

3.2.2 粒子径評価

各試料の粒子径を表2に示す。いずれの試料も平均粒子径およびD25/D75から評価される粒度分布の均一性も非常に高く、粒子径に関しては、非常に高精度な分級品であることが示された。

3.2.3 粒子形状評価

各種ダイヤモンドの形状指数K、表面粗度C_{vr}を表2に示

す。形状指数Kは、A～Dの順に大きな値を示し、視覚的な観察で認められたマクロな粒子形状を表現していると考えられた。また、表面粗度C_{vr}は、A～Dの順に小さな値を示し、視覚的な観察で認められた粒子表面の凹凸であるセミマクロな粒子形状を表現していると考えられた。すなわち、A～Dに従い粒子形状は塊状となり、且つ表面の凹凸は減少する事が定量的に示された。

3.2.4 形状指数と研磨速度の関係

図5に、形状指数Kと研磨速度の関係を示す。形状指数Kの増加に伴い、研磨速度は増加し、これらの関係は一次式にて近似された。すなわち粒子形状としては、マクロには塊状粒子が有効であると考えられた。これらの実験式を下記に示す。

$$Srr = 7.451K - 2.983 \quad (10)$$

図6に、表面粗度C_{vr}と研磨速度の関係を示す。形状指数C_{vr}の減少に伴い、研磨速度は増加し、これらの関係は一次

子表面の凹凸が少ないものが有効であると考えられた。これらの実験式を下記に示す。

$$S_{rr} = -52.85C_{vr} + 8.18 \quad (11)$$

式(10)及び(11)式に示される様に、研磨速度に及ぼす粒子形状の効果は形状指数K及び表面粗度 C_{vr} の両者が関与している事が明らかとなった。

これら2つの形状指数と研磨速度の関係について実験値より下記実験式を導いた。

$$S_{rr} = 1.082K^{1.570} \cdot C_{vr}^{-0.589} \quad (12)$$

式(12)に示される様に、両形状指数は独立因子であるが、特に研磨速度には形状指数Kが大きく関与する事が明らかとなり、マクロな形状の影響が大きい事が示された。

図7に、研磨速度の実験値および実験式より求めた計算値を示す。

図に示される様に、実験値および計算値の相関性は非常に高く、実験式の妥当性が明らかとなり、粒子形状を評価する事により研磨速度の推定が可能と考えられた。

図8に試料Aおよび試料Dのモデル粒子を示す。上記条件を満たす試料Dは、試料Aと比較して、研磨速度において約30%の向上が示された。

研磨速度に粒子径以外の形状指数が影響する理由の一つとして、研磨過程における砥粒の運動が関与していると考えられる。特に寄与率の高いKについては、近似楕円の長軸、短軸の比を評価しており、(9)式より研磨速度の低下は長軸と短軸の比が増加するもの、すなわち、棒状粒子へと近づくものである。この様な粒子形状は、定盤と被研磨材間におい

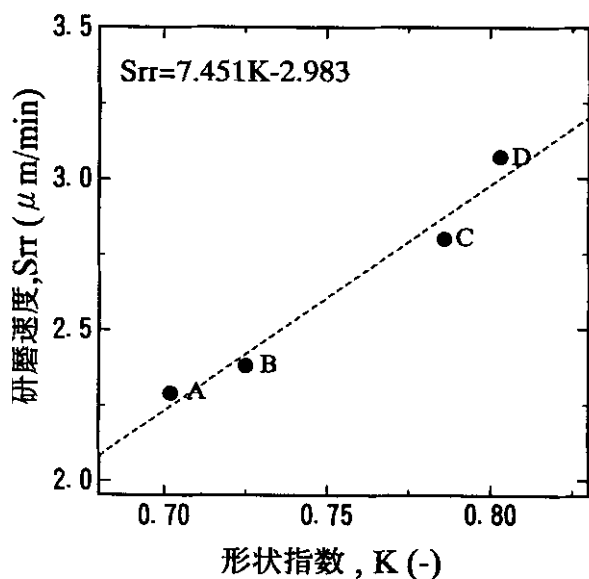


図5 形状指数と研磨速度の関係

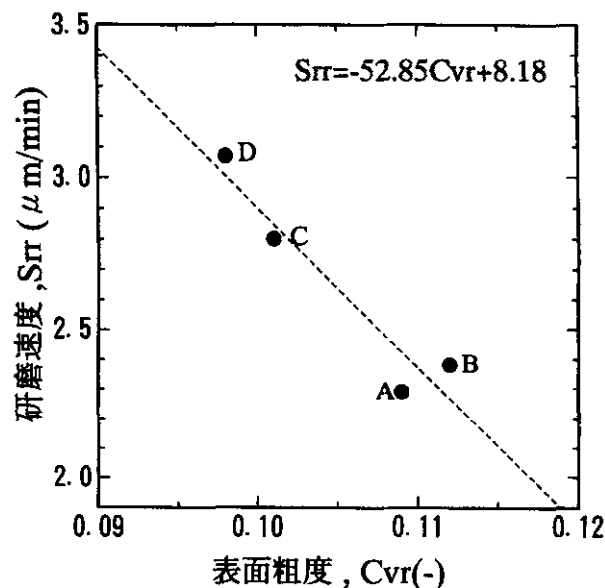


図6 表面粗度と研磨速度の関係

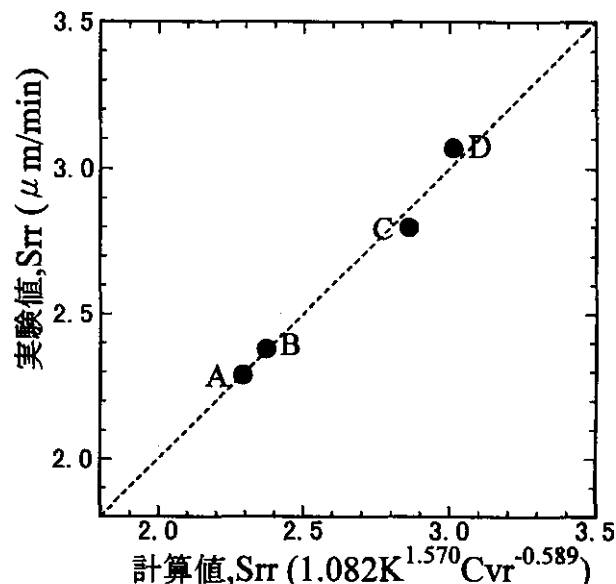


図7 計算値と実験値の相関関係

て、塊状粒子がランダムに運動し粒子表面全体を機能させるのに対して、その運動方向に制限があり研磨速度に影響を及ぼすものと推察される。

3.2.5 形状指数と表面粗さの関係

図9に、形状指数Kと表面粗さの関係を示す。図に示される様に、各試料において表面粗さには有意な差は認められず、良好な研磨面を示した。また、同様に C_{vr} について検討を行ったが有意な差は認められなかった。この様な結果より、研磨材の表面粗さに及ぼす因子としては、マクロな形状およびセミマクロな形状は影響せず、先に3.1項で述べた粒子径に依存するものであると考えられた。

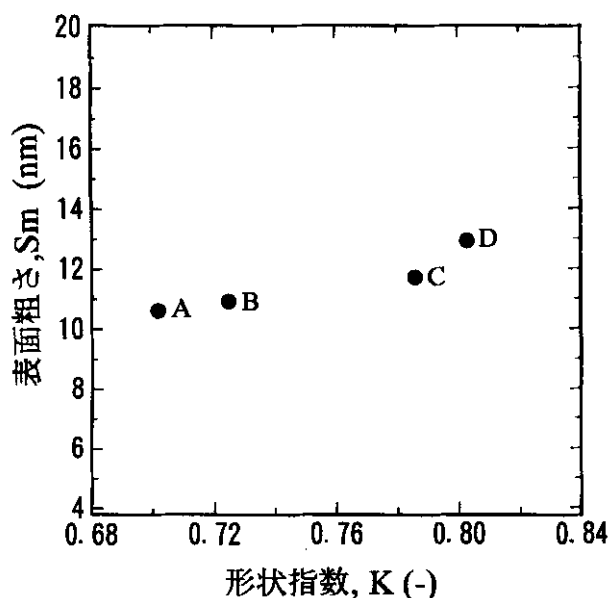
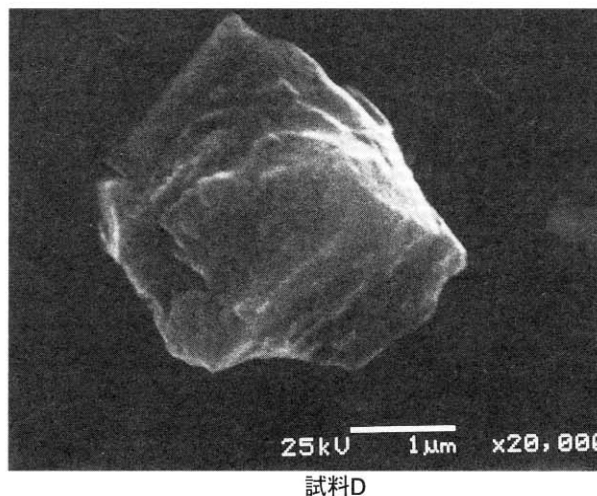
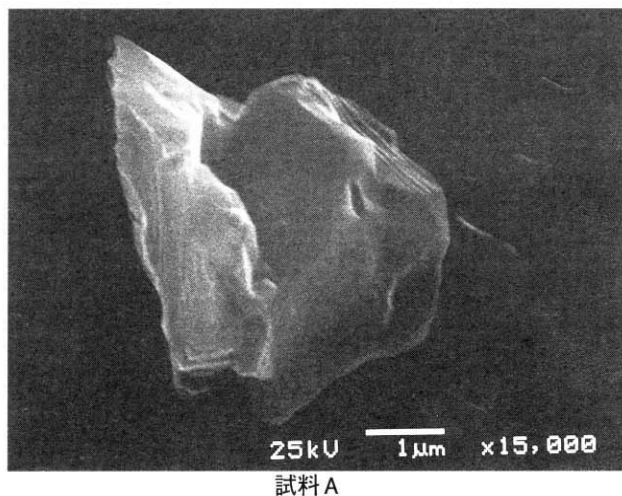


図9 形状指数と表面粗さの関係

4. まとめ

精密研磨加工に用いられる多結晶ダイヤモンドの研磨特性として被研磨材の研磨速度、表面粗さに及ぼす粒子径及び粒子形状の影響について検討し以下の知見を得た。

- (1) 研磨材の研磨特性は、被研磨材と砥粒間における応力歪みで説明され、粒子径の増加に伴い研磨速度は増加し、表面粗さは大きくなる相反する特性である事が明らかとなった。また粒子径と研磨速度は二次の関係を、表面粗さは一次の関係を示した。
- (2) 第一次フーリエ記述子による形状指数 K および表面粗度 C_v により、砥粒の研磨特性との良好な相関が得られた。
- (3) 形状指数より研磨速度に関する実験式が導かれ、実験値と計算値において良好な相関が得られた。本実験式より、

粒子形状から研磨速度の推定が可能となった。

- (4) 研磨材の性能は、主に研磨材の粒子径に依存すると考えられてきたが、マクロな粒子形状の寄与も非常に大きく、粒子形状を制御する事により、同一粒子径で表面粗さは良好で、且つ研磨速度の高い砥粒の製造が可能である事が示された。

参考文献

- 1) Tanaka, T., Y. Takayama, K. Ono : ZAIRYOU GIJYUTU, 6,260 (1988)
- 2) Oshima, T., Y. I. Zhang, M. Suzuki, T. Nakagawa, : J. Soc. Powder Technol. Japan, 30,496 (1993)
- 3) Otani, M., T. Uchiyama, H. Minoshima, : J. of the Soc. of Mat. Eng for Resources of Japan, 7,35 (1994)
- 4) Otani, M., H. Minoshima, T. Uchiyama, : J. Soc. Powder Technol. Japan, 32,151 (1995)
- 5) Otani, M., H. Minoshima, J. of the Ceramic Soc. of Japan, 105,12,1099 (1997)
- 6) H. Minoshima, Otani, M., T. Uchiyama, : Reports of the hokkaido Industrial Reserch Institute, 295, 129 (1996)
- 7) Kawashima, N., Hatano, S. Tochiyama : ZAIRYOU GIJUTU, 9,300,-305 (1991)