

# ナノ多結晶ダイヤモンドの切削工具への応用

角谷 均\*・原野 佳津子・村上 大介

Application of Nano-polycrystalline Diamond to Cutting Tools — by Hitoshi Sumiya, Katsuko Harano and Daisuke Murakami — The authors have succeeded in the production of single-phase (binderless) nano-polycrystalline diamond (NPD) by the direct conversion sintering of graphite at ultra-high pressure and temperature. NPD, consisting of diamond grains of several tens of nanometers, features fine texture, extreme hardness, and high strength without showing cleavage features and anisotropy of mechanical properties. These salient characteristics indicate that NPD has outstanding potential as industrial material suitable for cutting tools and wear-resistant tools. To evaluate the cutting performance of NPD tools, the authors conducted precision cutting tests using various work materials such as Al-Si alloy, ceramics, and cemented carbides in the respective conditions. NPD tools demonstrated significantly high cutting performance in each test compared with both conventional polycrystalline diamond tools and single-crystal diamond tools, indicating that NPD holds great promise in applications for various cutting and processing tools.

Keywords: high pressure synthesis, polycrystalline diamond, mechanical properties, cutting tool, cutting performance

## 1. 緒 言

物質中、最も硬いとされるダイヤモンドは、その卓越した硬さから工業的に多くの用途に利用されてきた。粉末状のダイヤモンドは古くから研磨や研削用の砥粒として多く使われ、大粒の単結晶やその焼結体は、バイト、ドリル、エンドミルなどの切削工具や、ドレッサー、スタイラス、ノズル、ダイスなどの耐摩耗工具に広く利用されている。中でも、大粒の単結晶ダイヤモンドは、電子部品や光学レンズなどの精密金型の加工、あるいは樹脂やプラスチックの高精度加工のための精密切削バイトとして利用されており、我が国の得意とする精密微細加工分野における基盤技術を支えている。また、粉末状のダイヤモンドを結合材で固めた焼結ダイヤモンドは、非鉄金属の旋削加工やミリング加工用の切削チップ (TA) として広く使用され、自動車や航空機産業を始め、幅広い産業分野で活躍している。

しかしながら、昨今の被削材の多様化、難削化に伴って、従来の単結晶ダイヤモンドや焼結ダイヤモンドでは対応が困難な用途が増えてきている。単結晶ダイヤモンドでは劈開チップングや偏摩耗が問題となり、焼結ダイヤモンドは耐熱性や加工精度に限界がある。一方で、ダイヤモンドの砥石や砥粒を用いた研削や研磨により仕上げ加工されてきた硬質材料の精密加工分野においても、更なる高精度化と高能率化の動向とともに、従来のダイヤモンドでは困難な切削による精密仕上げ加工の必要性が高まっている。このような要請は科学技術や産業の発展と多様化に伴って、今後益々強まって行くと思われる。

このニーズに応えるには従来のダイヤモンドを超える、より高硬度で強靱、かつ耐熱性にも優れた新素材が必要である。われわれは、この夢のような材料を開発した。ナノ多結晶ダイヤモンドである<sup>(1)</sup>。これは、超高压下で黒鉛材料からの直接変換により得られる、非常に緻密な組織を備えた多結晶ダイヤモンドで、単結晶ダイヤモンドを超える高い硬度を有す。また、単結晶ダイヤモンドの欠点である劈開性や機械特性の異方性がなく、結合材を含まないため耐熱性も高い。さらに、構成する粒子は数十 nm と微細で、高強度でシャープな刃先を成形することができる。このよ

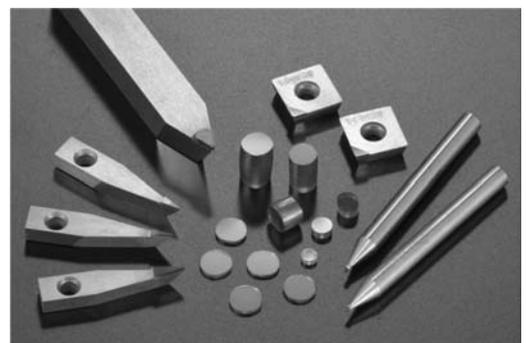


写真1 ナノ多結晶ダイヤモンド (NPD) 素材と、それを用いた各種切削工具

うにナノ多結晶ダイヤモンドは切削工具用として理想的な材料であり、従来のダイヤモンド材料を大きく超える、非常に高いポテンシャルをもつ。われわれは、このナノ多結晶ダイヤモンドから写真1のような切削工具を作製して、Al合金、セラミックス、超硬合金の各種被削材に対して精密切削の基礎テストを行ない、実用性能を系統的に調査した<sup>(2)~(4)</sup>。その結果、いずれも、従来の焼結ダイヤモンドや単結晶ダイヤモンドに比べて非常に優れた切削性能を有すること、さらには、従来ダイヤモンド材料では不可能であったバインダレス超硬などの高硬度材料の切削加工も可能であることが明らかとなった。本報では、これらの研究結果について述べ、ナノ多結晶ダイヤモンドの切削工具としての可能性を総括する。なお本稿では、このナノ多結晶ダイヤモンド (Nano-Polycrystalline Diamond) をNPDと呼ぶ。また、単結晶ダイヤモンド (Single-Crystal Diamond) をSCD、従来の結合材を含む焼結ダイヤモンド (Poly-Crystalline Diamond) をPCDと呼ぶことにする。

## 2. NPDの特徴

10GPa以上の超々高圧、2,000℃を超える高温下では、触媒や溶媒を用いなくともグラファイトはダイヤモンドに直接変換する。このとき、出発物質の状態や、圧力温度条件によって、固く焼結したダイヤモンド単相の多結晶体が得られる。われわれは、この直接変換焼結法を発展させて、粒径数十nmのダイヤモンド粒子が強固に直接結合したナノ多結晶ダイヤモンド (NPD) を合成した<sup>(5)、(6)</sup>。さらに出発物質と合成容器の改善、組織制御と合成条件の最適化により、8-10mmの大型で均質なNPDの量産技術を構築した<sup>(1)</sup>。こうして得られたNPDは、非常に微細な粒子が極めて強い力で互いに結合した組織構造を持ち、結合材や異相を一切含まないため、硬さや強度、耐熱性などの各特性において従来のダイヤモンドを大きく凌駕する。次にその概要を述べる。詳細は関係文献<sup>(7)~(9)</sup>を参照されたい。

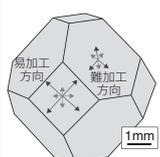
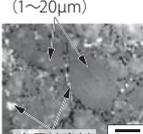
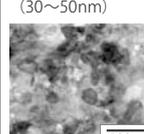
NPDの硬度は130GPa前後であり、ダイヤモンドの中で最も普遍的なI型 (天然Ia型と合成Ib型、窒素不純物を含む) の硬度 (70-120GPa) より高い<sup>(7)</sup>。NPDは微細な粒子が非常に強固に結合しているため、塑性変形や微細クラックの進展が粒界で阻止される効果により、SCDより硬くなるのである。また、各粒子はランダムな方位を向いているため、SCDで見られる硬度の異方性や劈開性がなく、破壊靱性も高い<sup>(8)</sup>。また、NPDの硬度は高温下でもあまり低下せず、たとえば800℃においても100GPaを超える高い硬度を維持し、SCDと比べると2倍近く硬い<sup>(9)</sup>。SCDは面すべりによる塑性変形が熱によって活性化し、硬度が大きく低下するが、NPDは、粒界での塑性変形阻止効果が温度に関係なく作用するため、高温下ではSCDより遥かに硬くなるのである。一方PCDは、結合材の影響 (特にダイヤモンドとの熱膨張差) で500-600℃で材質が大きく劣化し、

硬度が著しく低下する。また、NPDの抗折力 (TRS)<sup>(9)</sup>は室温で約3GPaで、超硬合金の抗折力に近く、他の硬質セラミック材料や従来の結合材を含むPCDより高い。NPDは粒界に不純物相を含まず、粒子間結合力が強固であるため、そのTRSは高温でもほとんど低下しない<sup>(9)</sup>。一方、PCDのTRSは、硬度と同様に結合材の影響で500℃前後より大きく低下する。このようにNPDは、硬さと強さと耐熱性をあわせ持った理想的な硬質材料である。

ダイヤモンド砥石を用いた高負荷研削による摩耗試験の結果<sup>(9)</sup>では、NPDの耐摩耗性は、SCDの高耐摩耗方向と同程度で、低耐摩耗方向と比べると10倍以上であった。NPDを構成する粒子はそれぞれランダムな方位を向いており、高耐摩耗粒子面がNPD表面に多数現れている。このためNPDの耐摩耗性は非常に高くなり、単結晶のような異方性もない。一方SCDは劈開の集積によって摩耗が進行し、面方位によっては大きく摩耗する。また、PCDは結合材の影響で微細クラックや粒子の脱落が生じ、摩耗が大きく進行し、その摩耗量は粒径や結合材量によって異なるが、NPDの10-100倍以上である。

以上のNPDの優れた特徴を、SCD、PCDと比較して表1にまとめた。NPDは、高硬度で優れた耐摩耗性を有し、SCDのような劈開性や、硬度・摩耗の方位依存性がなく、PCDのような耐熱性の問題もないなど、従来のダイヤモンド材料の欠点を一掃する画期的な硬質材料である。

表1 ナノ多結晶ダイヤモンド (NPD) の特徴/従来材との比較

| 材質名               | 単結晶 (SCD)  | 焼結ダイヤ (PCD)   | ナノ多結晶ダイヤ (NPD)  |
|-------------------|--|---|---|
| 組織<br>または<br>イメージ |  |  |  |
| Knoop硬度           | △ 80-120GPa (方位依存)   | △ 50GPa   | ○ 110-130GPa  |
| 等方性               | × 方位依存性大   | ○ 等方的   | ○ 等方的   |
| 強度、耐欠損性           | × (111) 劈開あり   | ○   | ○   |
| 耐熱性<br>(不活性雰囲気)   | ○ 1,600℃   | × 600℃  | ○ 1,600℃  |
| 加工精度              | ○ <50nm  | × ~0.5µm  | ○ <50nm   |

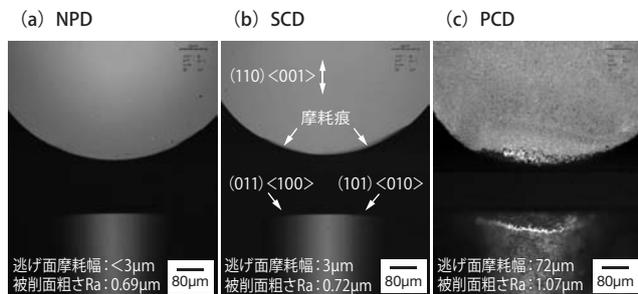
## 3. NPDの切削性能

NPDは、前項で述べたように優れた各種特性を有し、特に、切削工具として非常に高いポテンシャルを有すると考えられる。これを系統的に検証するため、NPDから種々の

切削バイトを作製し、下記のように各種の切削試験を実施した<sup>(2)~(4)</sup>。

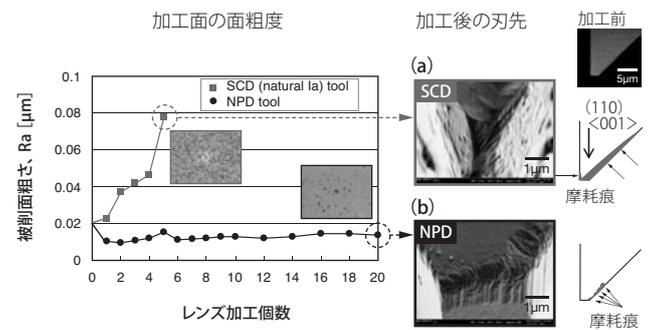
まず、従来ダイヤモンドバイトが使用されてきた、高強度Al-Si合金やセラミックスに対して、切削加工テストを行った(3-1、3-2)。そして次に、従来のダイヤモンドバイトでは十分対応できていない超硬の切削加工を、種々の被削材に対し、旋削、ミリング、プレーナーなど様々な加工法で評価した(3-3)。それぞれ比較材として、従来のCoバインダーを含む焼結ダイヤモンドの粒径の異なる3種(PCD-A、B、C：それぞれ粒径が1 $\mu$ m、5 $\mu$ m、30-50 $\mu$ m)、および天然Ia型あるいは合成Ib型の単結晶ダイヤモンド(SCD)から作製したバイトを用い、それぞれ同じ切削条件で性能を比較評価した。以下に各評価試験の結果を述べる。

**3-1 高硬度Al-Si合金の高速断続切削加工** NPDより、先端角60°、R=0.4mm、逃げ角11°のR形バイトを高精度加工で作製し、このNPDバイトで、高強度アルミ合金を高速断続切削した。被削材には、断続性を持たせるためU字型の溝を4本形成したA390の丸棒を用い、切削条件は、切削速度V=800m/min、切込みd=0.2mm、送りf=0.1mm/revとした。この切削試験の結果、NPDバイトの耐摩耗性は、SCDバイトと同程度で、従来の微粒系PCD-Aバイトと比べると10-20倍高いことがわかった。**図1**に、30km切削後の各工具の刃先の写真を示す。PCDバイトは、主にCoバインダーの影響による熱劣化(微細クラックや粒子脱落、グラファイト化)により摩耗が進行する。SCDバイトの刃先は(110)<001>の耐摩耗面方位であるため、顕著な摩耗は見られないが、少し左右にずれたところで**図**に示すような偏摩耗の痕が見られる。これらに対してNPDは、PCDのような熱劣化やSCDのような偏摩耗がなく、切削後のバイトの刃先にはほとんど摩耗痕が見られない。このため、加工後の被削材の面精度もPCDバイトやSCDバイトによるものより高い。



**図1** 高硬度Al-Si合金の高速断続切削試験後(切削距離30km)の刃先写真  
(a) ナノ多結晶ダイヤモンドバイト(NPD)  
(b) 単結晶ダイヤモンドバイト(SCD)  
(c) 従来の結合材を含む多結晶ダイヤモンドバイト(PCD)

**3-2 ZnSのフレネルレンズ精密切削加工** セラミックスの精密加工例として、ZnSのフレネルレンズ加工を採り上げる。NPDとSCDから作製した、先端角45°先端刃幅2 $\mu$ mの先鋭バイトを用いて、精密旋盤で直径20mmのZnSレンズをフレネルレンズ形状に旋削加工した。回転数は2,000rpmで、切込みd=10 $\mu$ m、送りf=7 $\mu$ m/revとした。その結果、SCDバイトでは5個のレンズを加工した時点で、被削面粗度が0.05 $\mu$ m以上に悪化して工具寿命に至ったのに対し、NPDバイトは、20個のレンズを加工しても切削面の面粗さは0.02 $\mu$ m以下と良好であった。それぞれの切削後の刃先のSEM写真を**図2**に示す。SCDバイトは、偏摩耗によって刃先の形状が崩れている(**図2(a)**)。これに対しNPDバイトは、20個のレンズ加工後も初期の刃先形状を維持していることがわかる(**図2(b)**)。NPDは何れの方法も同等に高い耐摩耗性を有するため、刃先形状の崩れが小さく、これによって良好な加工面状態を長く維持できると考えられる。



**図2** ZnSのフレネルレンズ切削加工試験後の加工面の面粗度(左)および刃先写真(右)  
(a) レンズ5個切削(切削距離2.2km)後の単結晶ダイヤモンドバイト(SCD)  
(b) レンズ20個切削(切削距離6.3km)後のナノ多結晶ダイヤモンドバイト(NPD)

### 3-3 各種超硬合金の切削加工

**3-3-1 汎用超硬合金の高送り旋削加工** 次に、各種超硬合金に対する切削性能を評価した。まず、NPDよりRバイト(先端角90°、R=0.4mm、逃げ角11°)を試作し、金型用の一般的な超硬合金(D2:WC-7%Co、粒径2 $\mu$ m)に対する切削性能を調べた。切削速度V=20m/minで、切込みd=0.05mm、送りf=0.1mm/revの高送り条件で旋削による切削を行った。その結果、SCDバイトは初期段階(切削距離<20m)で大きく欠損したのに対し、NPDバイトは280mまで切削した後も顕著な欠損はなく、PCDバイトの3-5倍(PCD-B比で5倍、PCD-C比で3倍)の優れた耐摩耗性を示した。**図3**に、280m切

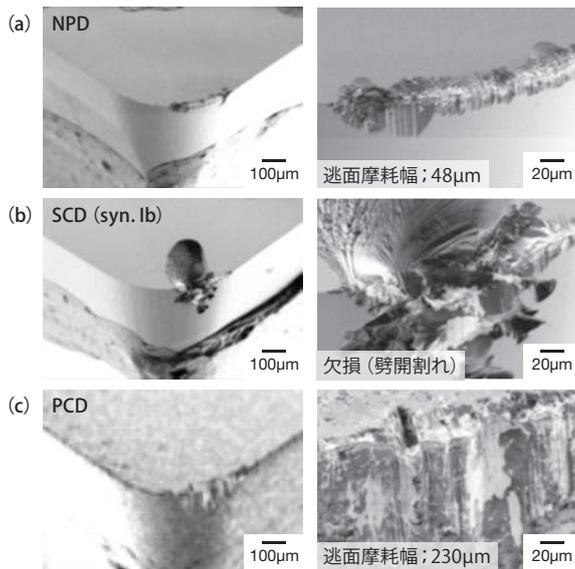


図3 汎用超合金の高送り旋削加工試験後（切削距離280m）の刃先写真  
 (a) ナノ多結晶ダイヤモンドバイト（NPD）  
 (b) 単結晶ダイヤモンドバイト（SCD）  
 (c) 従来の結合材を含む多結晶ダイヤモンドバイト（PCD）

削加工した後のそれぞれの刃先のSEM写真を示す。SCDバイト刃先は、劈開割れにより大きな欠損に至り（図3(b)）、また、PCDバイトは、粒子脱落やCoの触媒作用（グラフアイトへ逆変換）による材質劣化や溶着摩耗により損耗が進んでいる（図3(c)）。これに対してNPDバイトは、図3(a)に示すように摩耗幅は50µm以下と小さい。この刃先写真からわかるように、NPDの摩耗は機械的な摩滅によるものが主体となっており、耐摩耗性の高い結晶面が表面に現れているダイヤモンド粒子によって高い耐摩耗性を維持していると考えられる。

3-3-2 超微粒超合金の精密端面切削加工 次に、NPDの超合金に対する精密切削加工のポテンシャルを確認するため、先鋭バイトで旋削による切削試験を行った。工具は、先端角45°、逃げ角10°のV字型バイトとして、SCDと比較評価した。超精密旋盤を用いて超微粒超合金（WC-12%Co、粒径0.3µm）の端面旋削（ $V = 9.6\text{--}5.2\text{m/min}$ 、 $d = 1\mu\text{m}$ 、 $f = 0.5\mu\text{m/rev}$ ）を行った。SCDバイトでは初期の段階で劈開によるチッピングが現れ、切り込み側の稜線から刃先が大きく欠損した。これに対しNPDバイトには顕著な欠損が見られず、SCDバイトの2倍を超える寿命でV溝加工が可能であった。

3-3-3 バインダレス超微粒超合金のプレーナー加工 V字形バイトで導光板の金型を模擬して、バインダレス超合金（WC-0%Co、粒径0.3µm）に対するプレーナー加工試験を実施した。工具形状を、先端角90°、逃げ面10°すくい角-20°とし、超精密ナノ加工機を用いて、 $V = 10\text{mm/min}$ で、送り0.3µm×4回で1本の溝を加工

する方法で、深さ1.2µm、長さ20mmのV溝を2µmピッチで30本形成した。その結果、SCDバイトによる加工では、1本目から溝形状が崩れているのに対し、NPDバイトでは、約20本まで工具形状を転写したV溝加工が可能であった。図4は、30本のV溝を切削加工した後の刃先の写真である。SCDの刃先は劈開により大きく欠損しているが、NPDバイトは先端のすくい面に1µm程度の小さな欠けが見られるだけで、V字の形状が保たれている。

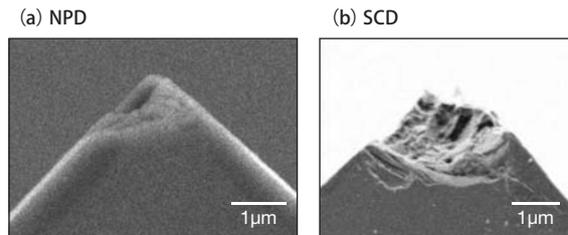


図4 バインダレス超微粒超合金のV溝プレーナー加工  
 (a) ナノ多結晶ダイヤモンドバイト（NPD）  
 (b) 単結晶ダイヤモンドバイト（SCD）

3-3-4 バインダレス超微粒超合金のフライカット加工 更に、このバインダレス超合金に対して、先鋭V字型バイト（先端角60°すくい角-30°）で、フライカットによりV溝切削を実施した。切削速度1,000m/minで、1パスあたり50nmづつ切込み、送り速度200mm/minで

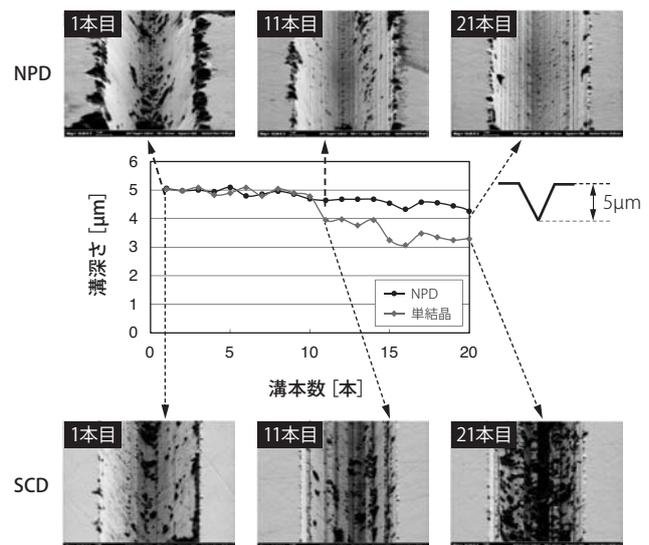


図5 バインダレス超微粒超合金のフライカット切削加工試験結果と切削溝形状  
 上：ナノ多結晶ダイヤモンドバイト（NPD）切削溝  
 下：単結晶ダイヤモンドバイト（SCD）切削溝

100パス繰り返し切削して、幅及び深さが $5\mu\text{m}$ のV溝を形成する方法で、100本の溝加工を行った。結果を図5に示す。SCDバイトでは1本目から刃先の微小欠損を転写して、工具走査方向に著しい筋状の凹凸が見られ、11本目で既にV字形状が大きく崩れている。これに対し、NPDバイトでは、20本目までV溝形状の加工が可能であった。さらに継続すると、V溝が徐々に丸みを帯びつつも100本目まで $5\mu\text{m}$ 幅の溝加工が可能であった。高硬度の超硬合金のフライカット切削では、切り込みを小さく抑えても刃先負荷が高く、SCDでは劈開によって容易に欠損してしまう。一方、劈開性のないNPDは耐欠損性に優れ、より長い時間、高負荷切削に耐えることができる。

3-3-5 超微粒超硬合金のボールエンドミル加工  
NPDを用いて $R = 0.5\text{mm}$ 、逃げ角 $8^\circ$ の1枚刃ボールエンドミル(写真2)をレーザー加工により試作して、金型用微粒超硬合金(WC-12%Co、粒径 $0.3\mu\text{m}$ )のミーリング加工を試みた。まず、主軸回転数36,000rpm、切込み $5\mu\text{m}$ 、送り $1\mu\text{m}$ で約 $4 \times 5\text{mm}$ 領域の面切削を実施したところ、 $R_z = 0.13\mu\text{m}$   $R_a = 0.04\mu\text{m}$ (切削方向の一次元 $R_a$ は $0.018\mu\text{m}$ )の鏡面を得ることができた(図6)。

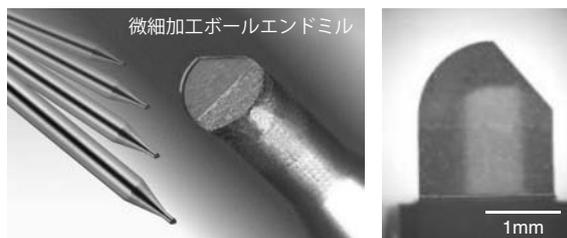


写真2 NPDよりレーザー加工により作製したボールエンドミル  
 $R = 0.5$ 、一枚刃

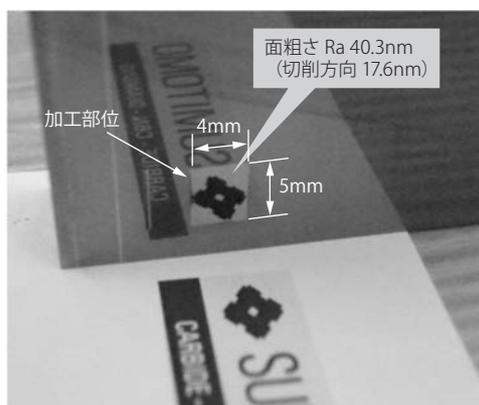


図6 超微粒超硬合金のボールエンドミル切削加工試験後の被削材の表面性状

更に、 $60\mu\text{m}$ を彫り込むパターン加工テストを実施、エッジチッピングの無いシャープなパターンを作製することができた。比較のために電着小径砥石で同様の形状を彫り込むパターン研削を行った結果と併せて図7に示す。図7の下には、それぞれの加工面の電子顕微鏡写真を示した。電着砥石で研削した面の面粗さが $R_z = 0.46\mu\text{m}$   $R = 0.065\mu\text{m}$ であったのに対し、NPD工具で切削した面の面粗さは $R_z = 0.15\mu\text{m}$   $R_a = 0.016\mu\text{m}$ と良好であった。

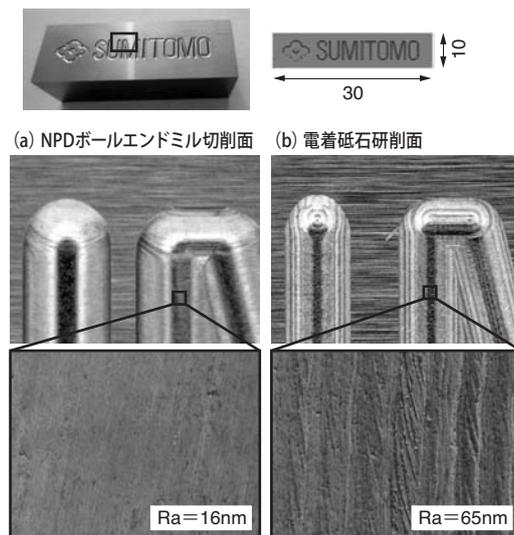


図7 超微粒超硬合金のパターンミリング加工後の写真(上)および加工面のSEM写真(下)  
(a) NPD ボールエンドミル切削面、(b) 電着砥石による研削面

#### 4. 結 言

圧力15-16GPa、温度2,200-2,300 $^\circ\text{C}$ の超高压高温下でのグラファイト→ダイヤモンド直接変換焼結により得られたNPDは、非常に硬く、高強度で、耐摩耗性や耐熱性にも優れる。表1に示したように、その各特性はいずれも、従来の焼結ダイヤモンド(PCD)や単結晶ダイヤモンド(SCD)を大きく凌駕し、切削工具として非常に有用であることを示す。われわれは、このNPDを用いて切削工具(バイト)を試作し、各種被削材に対して旋削やプレーナー、フライカット、ミーリングなどの各種切削加工方法で系統的に切削性能を評価した。その結果を表2にまとめる。NPDバイトはいずれの試験においても、PCDバイトやSCDバイトに比べて格段に優れた切削性能を示すことが明らかとなった。NPDは、PCDに見られる結合材による材質劣化が無く、SCDのような劈開性や機械特性の異方性による大きな欠損や偏摩耗による損耗もないことが、卓越した性能を示した理由である。

表2 ナノ多結晶ダイヤモンド (NPD) の切削性能評価結果まとめ/従来材との比較

| 被削材/切削形態  | 工具形状   | 切削条件   | NPD 工具評価結果  | SCD | PCD | NPD |
|---|--|--|---|-----|-----|-----|
| 高強度 Al 合金<br>Al-17Si-5Cu<br>(A390-T6) HB150<br>4U 溝付き断続旋削 | Rバイト (R0.4)<br>先端角 60°<br>逃げ角 11°<br>すくい角 0° | V = 800m/min<br>d = 0.2mm<br>f = 0.1mm/rev<br>切削長 30km   | ・耐摩耗性はPCD (0.5μm) の10~20倍<br>・刃先偏摩耗無し<br>※単結晶工具は若干偏摩耗<br>・被削面粗さは単結晶同等 | ○   | △   | ◎   |
| ZnSセラミックス<br>φ20mm-フレネルレンズ<br>端面切削                        | Vバイト(刃幅2μm)<br>先端角45°<br>逃げ角8°<br>すくい角0°     | 1,000rpm<br>d = 0.01mm<br>F = 0.007 mm                   | ・工具寿命は単結晶工具の5倍以上<br>※単結晶工具は偏摩耗による刃先劣化あり                               | △   | (×) | ◎   |
| 汎用超硬合金<br>WC-7%Co (2μm)<br>旋削                             | Rバイト (R0.4)<br>先端角 90°<br>逃げ角 11°<br>すくい角 0° | V = 20m/min<br>d = 0.05mm<br>f = 0.1mm/rev<br>切削長 270m   | ・工具寿命はPCD (5μm) の5倍以上、<br>PCD (30μm) の3倍以上<br>※単結晶工具は大欠損が発生、切削不可      | ×   | △   | ◎   |
| 超微粒超硬合金<br>WC-12%Co (0.3μm)<br>超精密端面切削                    | Vバイト<br>先端角 45°<br>逃げ角 10°<br>すくい角 0°        | V = 9.6-5.2m/min<br>d = 1μm<br>f = 0.5μm/rev<br>切削長 800m | ・工具寿命は単結晶工具の2倍以上<br>※単結晶工具は劈開による欠損で寿命                                 | ×   | (×) | ◎   |
| バインダレス超硬合金<br>WC-0%Co (0.3μm)<br>超精密プレーナー加工               | Vバイト<br>先端角 90°<br>逃げ角 10°<br>すくい角 -20°      | V = 10m/min<br>d = 0.3mm                                 | ・刃先先端にやや損耗みられるが、20本<br>溝加工が可能<br>※単結晶ダイヤモンド工具は、劈開により切削不可              | ×   | (×) | ○   |
| バインダレス超硬合金<br>WC-0%Co (0.3μm)<br>超精密フライカット                | Vバイト<br>先端角 60°<br>逃げ角 5°<br>すくい角 -30°       | 12,000rpm<br>V = 17m/min<br>d = 0.05μm<br>f = 200mm/min  | ・単結晶工具の2倍 (20本) まで工具損<br>耗無く、V溝加工が可能<br>・滑らかなV溝面<br>※単結晶工具では初期から刃先欠損筋 | ×   | (×) | ○   |
| 超微粒超硬合金<br>WC-12%Co (0.3μm)<br>パターンミリング                   | ボールエンドミル<br>R 0.5mm<br>逃げ角 8°                | 36,000rpm<br>Vf = 120mm/min<br>Ap = 5μm<br>Ae = 1μm      | ・複雑パターン加工の仕上げ切削可能<br>・面粗さ Ra = 0.016μm の鏡面を達成                         | (×) | (×) | ◎   |

NPDバイトは、アルミ合金など、従来のダイヤモンドバイトが用いられていた用途に対しては、より超寿命で、高速高負荷加工にも対応できると期待できる。さらにNPDの高硬度で、高強度、劈開性や機械特性の異方性がないという優れた特徴を生かすことで、従来のダイヤモンドバイトでは不可能であった用途、たとえば長時間にわたる切削加工（大面積加工）や、SCDバイトでは欠損や偏摩耗の進行によって困難であった超硬質硬脆材料の精密切削加工が可能となるであろう。

近年、工業製品の高度化、微細化や高集積化が進んでいる。これに伴って、加工技術のレベルアップあるいは変革が求められている。NPDは、この要求に十分応えることができる画期的な材料である。われわれは、このNPDを活用した各種の工具製品を開発し、工業技術の進化発展に貢献していく所存である。

参考文 献

(1) 角谷均、「合成ダイヤモンドの新展開 “高硬度ナノ多結晶ダイヤモンド”」、SEIテクニカルレビュー第180号、12-18 (2012)  
 (2) H. Sumiya, K. Harano, T. Sato, S. Kukino, “Mechanical properties and cutting performance of nano-polycrystalline diamond”, Proceedings of 4th CIRP International conference on High Performance Cutting 2010, Vol. 2, pp. 347-350 (2010)  
 (3) 原野佳津子、佐藤武、角谷均、久木野暁、「ナノ多結晶ダイヤモンドの切削性能」、SEIテクニカルレビュー第177号、107-113 (2010)

(4) K. Harano, T. Satoh, H. Sumiya, “Cutting performance of nanopolycrystalline diamond”, Diamond Relat. Mater., 24, 78-82 (2012)  
 (5) T. Irifune, A. Kurio, S. Sakamoto, T. Inoue, H. Sumiya, “Ultrahard polycrystalline diamond from graphite”, Nature, 421, 599-600 (2003)  
 (6) 角谷均、入船徹男、「高純度ナノダイヤモンド多結晶体の合成とその特徴」、SEIテクニカルレビュー第165号、68-74 (2004)  
 (7) H. Sumiya, T. Irifune, “Indentation hardness of nanopolycrystalline diamond prepared from graphite by direct conversion”, Diamond Relat. Mater., 13, 1771-1776 (2004)  
 (8) H. Sumiya, T. Irifune, “Hardness and deformation microstructures of nano-polycrystalline diamonds synthesized from various carbons under high pressure and high temperature”, J. Mater. Res., 22, 2345-2351 (2007)  
 (9) H. Sumiya, K. Harano, “Distinctive mechanical properties of nanopolycrystalline diamond synthesized by direct conversion sintering under HPHT”, Diamond Relat. Mater., 24, 44-48 (2012)

執 筆 者

角谷 均\*：シニアスペシャリスト 博士 (工学)  
 アドバンストマテリアル研究所 無機材料研究部 主幹 グループ長  
 ダイヤモンドやcBN、新材料の超高压合成と応用の研究に従事



原野佳津子：アドバンストマテリアル研究所 無機材料研究部 主席  
 村上 大介：住友電工ハードメタル(株) グループ長

\*主執筆