



鑄鉄・焼結合金加工用 スミボロン®BN7000の開発

松田裕介*・岡村克己・上坂伸哉
深谷朋弘

Development of New Grade “SUMIBORON” BN7000 for Cast Iron and Ferrous Powder Metal Machining — by Yusuke Matsuda, Katsumi Okamura, Shinya Uesaka and Tomohiro Fukaya — “SUMIBORON” PCBN (polycrystalline cubic boron nitride) tools are widely used in the cutting of hard-to-cut ferrous materials, such as hardened steel, cast iron and powder metal, and contribute to productivity growth and cost reduction for metalworking. In the recent growing automotive industry, the machining of cast iron and powder metal parts has been increasingly required. Conversely, however, the machinability of these parts has been degraded because of their high functionality. Therefore, the demand is increasing for PCBN cutting tools that enable efficient machining and long tool life. The authors have developed SUMIBORON BN7000, which has the highest CBN contents among the present production line and excellent binding force between CBN particles. BN7000 ensures higher efficiency and longer tool life in cast iron and powder metal machining than any other conventional PCBN grades. This paper describes the development process and performance of BN7000.

Keywords: cast iron, powder metal, CBN, PCBN, cutting tool

1. 緒 言

CBN（立方晶窒化硼素）は、ダイヤモンドに次ぐ高い硬度と熱伝導率を示し、鉄系金属との反応性が低いという特徴を有する。当社はこのCBNを特殊セラミックス結合材で結合させたCBN焼結体の開発を行ない、従来研削加工が主体であった焼入鋼加工の切削化を促進した。さらに、鑄鉄や焼結合金などの鉄系材料でも高含有率系CBN焼結体工具の適用により、中仕上げや仕上げ加工を中心に生産性向上とコスト低減に貢献してきた^{(1)~(5)}。

鑄鉄の加工で使用される工具としては超硬合金、セラミックス、サーメットが主流であるが、高精度加工や高速高能率加工には、高強度で高速切削が可能なCBN焼結体工具が使用される。例えばエンジンプロックやオイルポンプでは、部品の合わせ面を高能率、高精度に加工するため、CBN焼結体工具でフライス加工^{*1}される場合も多い。

金属粉末を焼き固めて製造する焼結合金は、ニアネットシェイプ技術^{*2}により複雑な形状が成形でき、さらに金属粉末組成や粒径、焼結密度などを制御し材料特性を自由に設計できるメリットから自動車のトランスミッション等の機能部品に多く採用されている。しかし焼結合金は、製品の高精度化への要求により、高い加工精度が要求される一方、材料の高硬度化のために難削化している。そのため焼結合金加工において、優れた加工精度と工具寿命が得られるCBN焼結体工具を適用する割合が増加している。

今回、当社は鑄鉄・焼結合金をより高能率、高精度に加工したいというニーズに応えるために、CBN焼結体工具

「スミボロン®BN7000」を開発した。本稿では、このBN7000の特性、切削性能について紹介する。

2. BN7000の特長

2-1 BN7000の材料特性 CBN焼結体は組織構造から、CBN粒子がセラミックス等の結合材を介して結合された焼結体とCBN粒子同士が結合した焼結体の2種類に分類される。前者は焼入鋼の加工で優れた耐摩耗性を示し、後者はCBNの含有率が高く、耐熱性、靱性に優れ、鋭利な刃先が形成できることから、鑄鉄や焼結合金、更に耐熱合金の加工に用いられる。BN7000は後者のタイプに属する。

表1に、BN7000と当社従来材種BN700、焼結合金仕上げ加工用材種BN7500の特性を示す。BN7000は焼結圧力を従来の5万気圧から向上させ、従来材種では実測値で90%程度であったCBN含有率を93%まで高めることで、

表1 BN7000の材料特性

材 種	CBN		硬 度 (GPa)	抗折力 (GPa)	破壊靱性値 (MPa・m ^{1/2})	熱伝導率 (W/m・K)
	含有率 (vol%)	粒 度 (μm)				
BN7000	93	2	41-44	1.3-1.4	9-11	110-120
BN7500	91	1	41-44	1.4-1.5	7-9	100-110
BN700 (従来材種)	90	2	40-43	1.2-1.3	8-10	100-110

高い硬度と優れた強度、靱性を実現した。また熱伝導率の高いCBN粒子を多く含むため、高い熱伝導性を有する。

2-2 BN7000の形状 BN7000の刃先断面形状と刃先処理を図1に示す。BN7000では汎用性の高い『標準型』、切れ味重視タイプの『LF型』、刃先強化タイプの『HS型』の3種類の刃先処理をラインナップし、被削性と部品形状が多岐にわたる焼結合金の加工において、特に優れた切削性能を発揮する。耐欠損性と切れ味のバランスに優れた標準型は、鋳鉄や焼結合金の汎用加工における第一推奨の刃先処理である。LF型は切れ味の良いシャープエッジ刃型で、焼結合金の仕上げ加工において、優れた面粗度と形状精度を長時間維持することができる。HS型はチャンファー角度を大きくし、Rホーニングを施すことによりHRC50を超える焼入れ焼結合金の断続加工でもチップングや欠損を抑制し、長寿命を達成できる。

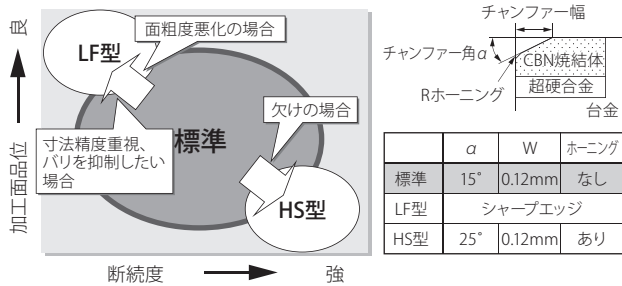


図1 BN7000の刃先処理

3. 焼結合金加工におけるBN7000の切削性能

3-1 焼結合金加工における課題 焼結合金をCBN焼結体工具で加工した際、図2のように表面に凹凸のある摩耗形態となることが多い。摩耗部を高解像度の走査型電子顕微鏡 (SEM) で拡大し、詳細に分析した結果、CBN粒子の周囲の結合材がなく、CBN粒子が浮き出しているこ

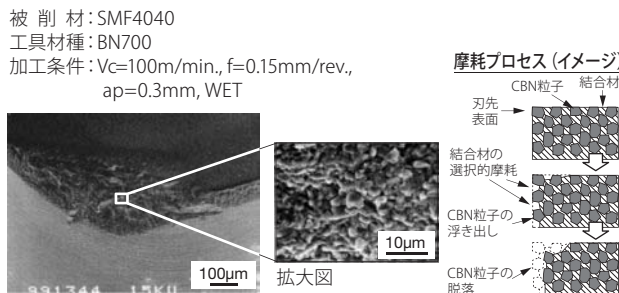


図2 焼結合金加工における刃先の損傷形態 (SEM画像)

とが判明した (図2: 拡大図)。このため焼結合金の加工では、焼結合金中に含まれる高融点金属や炭化物などの各種硬質粒子により、切削時にCBN粒子の周囲の結合材が削り取られ、CBN粒子が浮き出した後に脱落することを繰り返して摩耗が進展すると考えられる (図2: 摩耗プロセス)。従ってこのCBN粒子の脱落を抑制することが工具性能向上のための課題であると言える。

3-2 BN7000による焼結合金加工

(1) BN7000の改良点

BN7000は従来材種BN700に対し、CBN粒子の含有率を高めることで、機械的特性に劣る結合材を相対的に30%減少させ、さらに結合材の改良により、焼結時のCBN粒子間の反応を促進させることでCBN粒子間の結合力を強化した。この効果を確認するため、BN7000とBN700について3mm×3mm×1mm¹に切り出した焼結体の表面を、3µmのダイヤモンド遊離砥粒を用いて鏡面研磨し、180°Cのフッ硝酸中で12時間処理することで結合材を溶出させ、研磨面をSEM観察した。写真1はSEM観察の結果である。従来材種と比較し、BN7000では結合材の溶出による空孔が少なく、CBN粒子間の境界が連続している様子が見られる。これはCBN粒子の含有率が高くなったことでCBN粒子同士の接触面積が増加し、酸処理後もCBNの骨格が保たれており、CBN粒子間の結合力が強化されていることを示している。

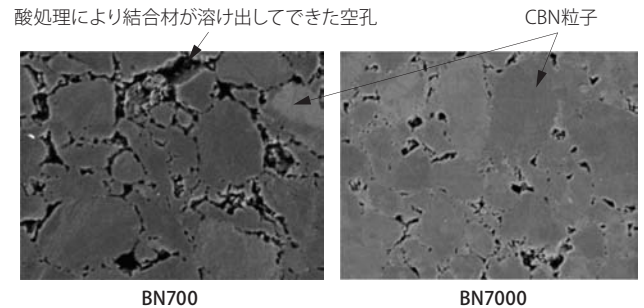


写真1 酸処理後のSEM画像

(2) 切削評価による性能確認

切削時の摩耗量を比較するため、BN7000と従来材種について2NU-CNGA120408 (刃先処理: ホーニング0.01mm)の工具を準備し、被削材: SMF4040 (寸法: 外径65mm×内径27mm×長さ41mm、硬度: HRB70の中空丸棒)を切削速度 V_c : 100m/min.、送り f : 0.15mm/rev.、切り込み ap : 0.3mmで連続湿式環境下において端面切削し、逃げ面摩耗量の比較を行った。図3に示すように、BN7000は従来材種に対し20%以上の摩耗低減が確認できた。

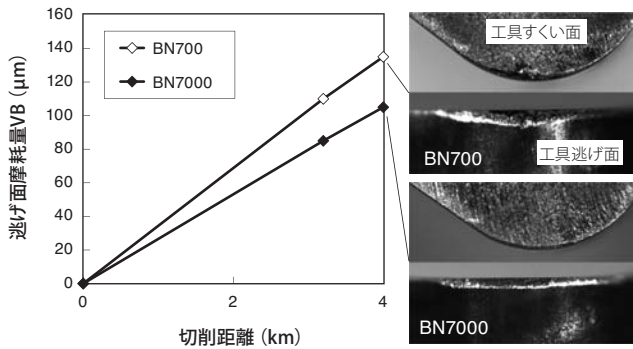


図3 焼結合金加工におけるBN7000の切削結果

4. 鋳鉄加工におけるBN7000の切削性能

4-1 鋳鉄加工における課題 鋳鉄の高速切削では加工時の刃先は $V_c = 700\text{m/min.}$ で 1000°C を超える温度に達する⁽⁶⁾。フライス加工などの断続を伴う加工では、工具が切削と空転を繰り返すことで刃先の内外部に温度差が生じ、熱膨張、収縮により表面に引張り応力が生じることで熱亀裂が発生し寿命に至る。よって靱性に優れ、かつ高い熱伝導性を有し、刃先で発生した熱を放出して熱亀裂を低減することが、工具性能向上のための課題であると考えられる。

4-2 BN7000による鋳鉄加工

(1) BN7000の改良点

BN7000は3-2で記述したように、従来材種BN700に対しCBN粒子の含有率を高め、さらにCBN粒子同士の結合力を強化した。BN7000と従来材種について、直径 $6\text{mm} \times 1\text{mm}^1$ に切り出した焼結体を用意し、 25°C の環境下でXeレーザーフラッシュ法^{※3}にて熱伝導率を測定した(図4)。その後、各焼結体を3-2(1)と同じ方法でフッ硝酸処理を施し、同様に熱伝導率を測定した。図5は従来材種とBN7000の焼結体の酸処理前後の熱伝導率を示す。BN7000は従来材種に対し10%以上熱伝導率が上昇してい

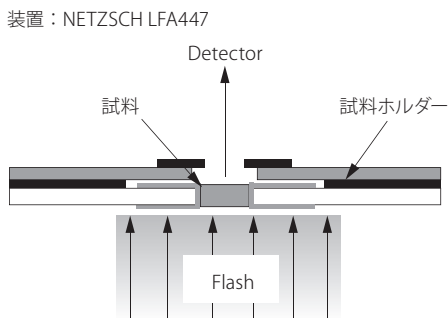


図4 熱伝導率測定の様式図

る。また酸処理前後の熱伝導率減少率が小さいため、CBN粒子同士の結合が強化されていることが推察される。これにより、切削時に刃先で発生した熱は熱伝導率の高いCBN粒子を経由し、効率的に放熱されると考えられる(図5:イメージ図)。

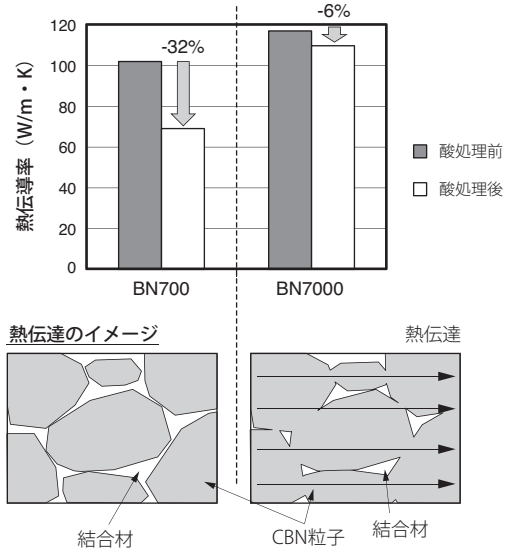


図5 CBN焼結体の熱伝導率

(2) 切削評価による性能確認

切削時の熱亀裂による損傷を比較するため、FMU4100RのカッターとSNEW1203ADTRの工具をBN7000と従来材種について準備し、フライス加工評価を実施した。被削材：パーライト^{※4}地FC250(寸法： $150\text{mm} \times 100\text{mm} \times 25\text{mm}$ 、硬度： $\text{HB}200\text{-}230$ の板材)を 25mm の間隔を開けて平行に配置(図6)して切削速度 $V_c: 1500\text{m/min.}$ 、送り $f: 0.2\text{mm/rev.}$ 、切り込み $a_p: 0.3\text{mm}$ で乾式環境下において上面フライス加工を行い、45パス時点の刃先をSEMで観察した。BN7000は従来材種に対して同数加工した場合の熱亀裂が低減しており、熱伝導率の向上により切削性能が改善されたことが確認できた(写真2)。

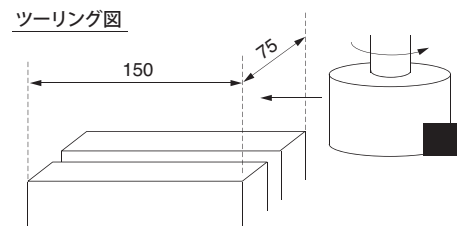


図6 フライス加工評価の様式図

45°パス加工

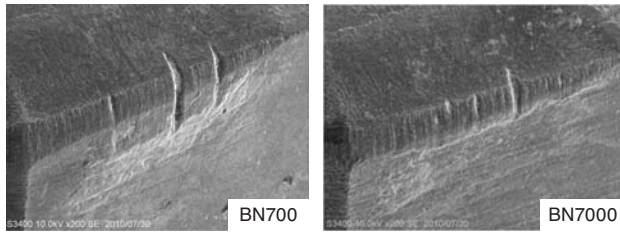
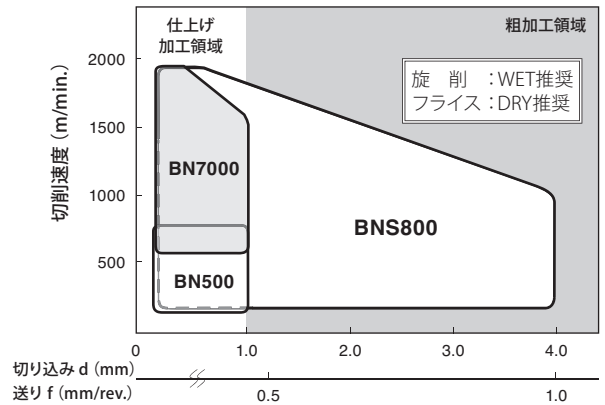


写真2 鑄鉄フライス加工刃先SEM画像

(a) ねずみ鑄鉄加工における適用領域



(b) 焼結合金加工における適用領域

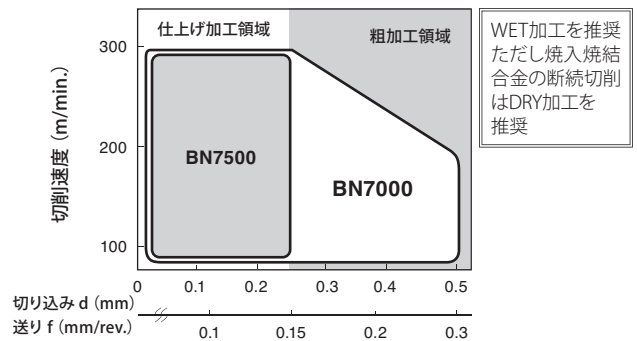


図7 BN7000の適用領域

5. BN7000の適用領域と使用実例

評価結果及び使用実例からまとめた鑄鉄におけるBN7000の適用領域を図7(a)に示す。BN7000は鑄鉄の高速仕上げ加工で優れた耐摩耗性と耐熱亀裂性を示す。切込み1mm以上の粗加工領域では切刃長の長いソリッドCBNのBNS800が推奨となる。また焼結合金加工におけるBN7000の適用領域を図7(b)に示す。BN7000は焼結合金加工の汎用加工における第1推奨材種である。但し仕上げ加工領域では、微粒のCBN粒子を高密度に焼結することで、高品位の刃先稜線を維持できるBN7500が第1推

● 焼結部品内径仕上げ加工		加工数(個)													
被削材: トランスファー部品 (SMF4040) 加工内容: 内径仕上げ加工	<table border="1"> <tr><td>工具材質</td><td>BN7000</td></tr> <tr><td>工具型番</td><td>2NU-CNGA120408</td></tr> <tr><td>Vc m/min</td><td>120</td></tr> <tr><td>f mm/rev</td><td>0.15</td></tr> <tr><td>ap mm</td><td>0.3</td></tr> <tr><td>切削液</td><td>Wet</td></tr> </table>	工具材質	BN7000	工具型番	2NU-CNGA120408	Vc m/min	120	f mm/rev	0.15	ap mm	0.3	切削液	Wet		<ul style="list-style-type: none"> 他社の焼結合金用CBNは摩耗大により短寿命。 BN7000は、摩耗量が少なく1.3倍寿命を達成した。
工具材質	BN7000														
工具型番	2NU-CNGA120408														
Vc m/min	120														
f mm/rev	0.15														
ap mm	0.3														
切削液	Wet														
	<p>寿命判定基準: 寸法</p>														
● オイルポンプボディー加工		加工数(個)													
被削材: オイルポンプボディー (FC200) 加工内容: 合わせ面仕上げ加工	<table border="1"> <tr><td>工具材質</td><td>BN7000</td></tr> <tr><td>工具型番</td><td>2NU-CNGA120408</td></tr> <tr><td>Vc m/min</td><td>300-1000</td></tr> <tr><td>f mm/rev</td><td>0.12</td></tr> <tr><td>ap mm</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>切削液</td><td>Wet</td></tr> </table>	工具材質	BN7000	工具型番	2NU-CNGA120408	Vc m/min	300-1000	f mm/rev	0.12	ap mm	0.2	切削液	Wet		<ul style="list-style-type: none"> 従来CBNは面粗度が悪化し短寿命。 他社のCBNはバリが発生し短寿命。 BN7000は、摩耗が少なく、鋭利な刃先を維持できるため、2倍以上の寿命を達成。
工具材質	BN7000														
工具型番	2NU-CNGA120408														
Vc m/min	300-1000														
f mm/rev	0.12														
ap mm	0.2														
切削液	Wet														
	<p>寿命判定基準: バリ高さ 面粗度</p>														
● VSRブランジ加工		加工数(穴)													
被削材: VSR (In) 加工内容: 45°面仕上げ加工	<table border="1"> <tr><td>工具材質</td><td>BN7000</td></tr> <tr><td>工具型番</td><td>特型/バイト</td></tr> <tr><td>Vc m/min</td><td>100</td></tr> <tr><td>f mm/rev</td><td>0.08</td></tr> <tr><td>ap mm</td><td>—</td></tr> <tr><td>切削液</td><td>Wet</td></tr> </table>	工具材質	BN7000	工具型番	特型/バイト	Vc m/min	100	f mm/rev	0.08	ap mm	—	切削液	Wet		<ul style="list-style-type: none"> 他社CBNは摩耗大により短寿命。 BN7000は摩耗が少なく、鋭利な刃先を維持できるため、4倍の寿命を達成。
工具材質	BN7000														
工具型番	特型/バイト														
Vc m/min	100														
f mm/rev	0.08														
ap mm	—														
切削液	Wet														
	<p>寿命判定基準: 面粗度</p>														
● オイルポンプボディーフライス加工		加工数(個)													
被削材: シリンダーブロック (FC250) 加工内容: 合わせ面フライス仕上げ加工	<table border="1"> <tr><td>工具材質</td><td>BN7000</td></tr> <tr><td>工具型番</td><td>SNEW1203ADTR / FMU4100R</td></tr> <tr><td>Vc m/min</td><td>1500</td></tr> <tr><td>fz mm/rev</td><td>0.13</td></tr> <tr><td>ap mm</td><td>0.3</td></tr> <tr><td>切削液</td><td>DRY</td></tr> </table>	工具材質	BN7000	工具型番	SNEW1203ADTR / FMU4100R	Vc m/min	1500	fz mm/rev	0.13	ap mm	0.3	切削液	DRY		<ul style="list-style-type: none"> 従来CBNは欠損が発生し短寿命。 BN7000は耐欠損性が高く、1.3倍寿命を達成した。
工具材質	BN7000														
工具型番	SNEW1203ADTR / FMU4100R														
Vc m/min	1500														
fz mm/rev	0.13														
ap mm	0.3														
切削液	DRY														
	<p>寿命判定基準: 寸法精度 面粗度</p>														

図8 BN7000の使用実例

奨となる。またHRC60前後の高硬度な焼入焼結合金の連続切削では、焼入鋼切削と同様、熱的摩耗が支配的となる場合があるため、焼入鋼用の工具材種が推奨される。

BN7000の使用実例を図8に示す。耐摩耗性と耐欠損性に優れるBN7000は、鋳鉄の旋削加工やフライス加工、焼結合金の加工において、従来材種の1.3倍以上の工具寿命を達成した。さらに焼結合金の一つとして、自動車エンジン用VSR（バルブシートリング）の加工を行った使用実例を示す。VSR材は通常の焼結合金と比較して炭化物等の硬質粒子を多く含むため、硬度が高く加工し難い材料になっている。BN7000はVSR加工に対しても長寿命化を達成している。以上のように、さまざまな形状、材質の鋳鉄、焼結合金加工に対し、BN7000の適用により高能率化と長寿命化を実現できた。

6. 結 言

CBN焼結体工具「スミボロン®BN7000」の適用により、鋳鉄や焼結合金加工において、加工能率向上、工具寿命の延長が可能となった。BN7000は当社のスミボロン®製品の中でも最高のCBN含有率、硬度、熱伝導率を有する材料で、その適用領域は難削材などの材料強度が必要とされるアプリケーションにも広がる。今後もBN7000の適用が拡大し、切削加工工程のトータルコストの削減、品質の向上、並びに高精度化に貢献することが期待される。

用語集

※1 フライス加工

工作物を可動テーブルに固定し、回転工具を用いて平面や溝を成形する切削加工。

※2 ニアネットシェイプ技術

機械加工や電気加工などの除去加工の手間やコストを減らすことを狙い、最終製品に近い形状を得る成形法。

※3 Xeレーザーフラッシュ法

断熱真空中に置かれた平板状試料の表面をXeレーザーで均一にパルス加熱し、表面から裏面への熱拡散現象を観測することにより、熱拡散率を求める手法。

※4 パーライト

鋼の組織の一種で、炭素が0.77wt%溶け込んだ鉄を高温領域から温度727℃以下へと徐冷した時に生ずる共析組織。光沢が真珠に似ているため、パーライトと称される。

参 考 文 献

- (1) 大田、「焼結合金、鋳鉄加工用スミボロン®BN700の開発」、SEIテクニカルレビュー第165号、81（2004）
- (2) 岡村、「焼入鋼断続加工用スミボロン®BN350、BNC300の開発」、SEIテクニカルレビュー第165号、87（2004）
- (3) 寺本、「焼入鋼高速加工用スミボロン®BNC100および高精度加工用スミボロン®BNC160の開発」、SEIテクニカルレビュー第172号、89（2008）
- (4) 岡村、「焼入鋼高能率加工用コーティドスミボロン®新『BNC200』の開発」、SEIテクニカルレビュー第174号、18（2009）
- (5) 松田、「鉄系焼結合金仕上げ加工用スミボロン®BN7500の開発」、SEIテクニカルレビュー第176号、41（2010）
- (6) H. Kato, K. Shintani and H. Sugita, "Cutting performance of sintered cubic boron nitride tool in high speed machining of gray cast iron - The application of prolonged tool life mechanism to the milling operation -", Proc. International seminar on improving machine tool performance, vol.1, 209-218 (June 6-8 1998)

執 筆 者

松田 裕介*：住友電工ハードメタル(株)
超高压マテリアル開発部
CBN焼結体工具の開発・設計に従事



岡村 克己：住友電工ハードメタル(株) 超高压マテリアル開発部

上坂 伸也：住友電工ハードメタル(株) 超高压マテリアル開発部
グループ長

深谷 朋弘：住友電工ハードメタル(株) 超高压マテリアル開発部
部長

*主執筆者