

## セラミックス切削工具

1950年～現在

## 見学可能：

知の拠点あいち  
<https://www.chinokyoten.pref.aichi.jp/index.html>

あいち産業科学技術総合センター 産業技術センター  
<https://www.aichi-inst.jp/sangyou/>

Key-words：アルミナ、窒化ケイ素、被削材、高硬度、高速加工

**注1** セラミックや超硬合金などでできた金属を加工する時に使う刃物。この切削工具と呼ばれる刃物を使って、金属などの被削材の一部を除去加工し、所要の形状を作る方法を切削加工と言う。

セラミックス工具が開発されたのは1950年代である。それまでセラミックスはいわゆる焼き物として食器などの陶磁器や耐火物などに使われていたが、その原材料は主に天然原料であり、鉱物から必要成分を選別して混合粉碎し使用するため、単一成分として得ることが難しく、また粒子径など品質が安定しなかった。しかし、第二次世界大戦後の1950年頃からさまざまな人工の原料が開発され、市場に広く出回るようになり、純度が高く、微細な原材料が入手できるようになった。それを用いて開発されたニューセラミックが電機、鉄鋼、自動車、機械、化学工業などへの用途に大幅に急速に広がっていった。その一つがセラミックス切削工具である。セラミックス切削工具には、主としてアルミナや窒化ケイ素が使われる。硬く、耐熱性があり、高速加工に向いているためである。現在も材料や工具形状、使用技術、プレス成形や焼結、研磨製法などの研究が進められている。最近では航空機などタービン部品に使われるニッケル耐熱合金用にさまざまなセラミックス切削工具が開発され注目を集めている。

セラミックス切削工具<sup>注1)</sup>が開発され実際の加工現場で使われ始めたのは1950年頃である。それまでセラミックスはいわゆる「焼き物」として食器などの陶磁器や耐火物などに使われていたが、その原材料は主に天然原料であり、鉱物から必要成分を選別して粉砕や混合して使用するため、単一成分として得ることが難しく、また粒子径など品質が安定しなかったため、工業用としてはあまり使えなかった。しかし、第二次世界大戦後の1950年頃からさまざまな人工の原料が開発され、高品質な原材料が市場に広く出回るようになり、純度が高く、サブミクロンの微細なセラミックの原材料が入手できるようになった。それを用いて開発されたニューセラミックが電機、鉄鋼、自動車、機械、化学工業などへの用途に大幅に急速に広がっていった。その一つがセラミックス切削工具である。

素ウイスカーは自然界に存在しないセラミック材料である。これらの材料は従来のセラミックとは区別され、ニューセラミックと呼ばれて当時注目を集めた。窒化ケイ素にアルミニウムやイットリウム成分を混ぜたものをサイアロンと呼ぶ。窒化ケイ素やサイアロンはアルミナと比較すると、韌性が高く、熱膨張が小さく、軽いのが特徴である。これらのセラミックス切削工具はインコネルやワスパロイなどの航空機や発電機用のタービン部品のニッケル基超耐熱合金の加工用として現在も使われている。この用途には2000年以降も複数のセラミックを押し出成形によって繊維状に成形し複合化させた材料<sup>3)</sup>や、アルミナに炭化タングステン<sup>4)</sup>を均質、微細に分散させ、その界面を改質して強化した材料<sup>4)</sup>や、セラミックス切削工具の形状や加工方法に関する研究開発<sup>5),6)</sup>が活発に行われ実用化されている。

## ＜セラミックス切削工具の歴史＞

セラミックス切削工具はアメリカやソ連、ドイツ、イギリスで開発されたものが最初と言われており、そのほとんどが酸化アルミニウム（以降アルミナと略称）だった<sup>1)</sup>。10年ほど先に普及が始まった超硬合金工具に対して、セラミックス切削工具は高速で加工できるが脆いため用途が限定されていた。しかし、1970年代頃に人工原材料として開発され普及した窒化ケイ素や、1980年代にアメリカで開発されたアルミナに炭化ケイ素ウイスカーを複合化させた複合セラミック<sup>2)</sup>により、その脆さが改善され用途が広がった。写真1はその頃の工具の展示例、写真2はそれらのセラミック工具をホルダーに口ウ付けする作業風景である。窒化ケイ素や炭化ケイ



写真1 1970年頃につくられた切削工具の展示の様子

工具ホルダーの先端に取り付けられるインサート（チップ）は加工する部品形状にあわせて、三角形や正方形、円筒形などが存在する。最近のインサートは工具ホルダーに押さえ金やねじ止めで機械的にクランプすることが一般的である。



写真2 セラミックス工具をホルダーにロウ付けする作業

1900年代の工具はインサート（チップ）を工具ホルダーに銀でロウ付けし、刃先を研ぎ直して使用することが一般的であった。当時のセラミックは銀ロウ付けにより割れる場合があり、黄銅や半田、エポキシ樹脂などによる接着も行われていた。

### ＜セラミック材料の改良手法＞

上述のようにセラミック材料の改良手法はさまざまあり高純度化したり、別の材料と混合して複数の特性を組み合わせる改善したり、表面にコーティングを施す方法などがある<sup>7)</sup>。切削工具で重要な特性は硬度、強度、靱性、耐熱性、耐化学反応性が挙げられる。これらの特性のうち、すべての特性が高く優れ、切削工具として万能なセラミック材料は存在しないため、用途に合わせたさまざまな改良が現在も続けられている。

セラミック材料の物性について、中でも硬度と鉄との反応性が重視される場合が多い。そのため、市場でよく見かける切削工具には、主成分としてアルミナや窒化ケイ素がよく使われる。それらの添加成分として炭化ケイ素、窒化チタン、炭化チタン、酸化ジルコニウムがよく使われる。一方、切削工具用のセラミック材料として窒化ホウ素も使われているが、セラミックス切削工具とは別の分類として扱われている。

アルミナは鉄などさまざまな被削材との反応性が低く、成形や焼結も容易なので工具のバルク材料として最初に普及した。2000年以降になるとCVDコーティングによる製法が確立し、超硬工具の表面に数ミクロンから数十ミクロンのアルミナ膜を形成した工具が多数開発され、現在も汎用工具として使われ

ている。

窒化ケイ素はアルミナと比較し破壊靱性が高いが鉄との反応性がある。そのため、工具としては主に鋳鉄加工の用途に限定されている。窒化ケイ素は構造材料にもよく使われる。1980年にはセラミック製のエンジンや発電機用のガスタービンが自動車メーカーやセラミックメーカーで開発され、窒化ケイ素製のターボチャージャーローターは一部の高級車やスポーツカーに採用された<sup>8)</sup>。

### ＜その他のセラミック材料＞

窒化ホウ素はセラミック材料であり立方晶系は切削工具の材料として使われる。窒化ホウ素はダイヤモンドに次ぐ硬さが特徴で鉄との反応性も低いため、自動車の鉄製ギヤやシャフトの加工用に使われる。六方晶系の材料は潤滑剤や離型剤、耐熱用の治具などに使われる。

ダイヤモンドも切削工具として使われるが鉄との反応性が高いことや耐酸化性が低いため、アルミ合金や樹脂などの非鉄部品加工に用途が限られている。

その他、セラミック包丁など高強度、高靱性を活かした刃物や機械部品用途の酸化ジルコニウムや、高い熱伝導率を有する半導体の放熱基盤用の窒化アルミニウムがあるが、これらを主成分とした材料は工具には使われていない。

### ＜セラミックス切削工具の形状開発と使用技術＞

セラミックス切削工具は材料の特性が性能の大きな部分を占めるが、加えて工具の形状や加工時の使い勝手や使い方も重要である。工具の形状は、単に四角いとか丸いとか、大きいとか小さいとか刃先が鋭く尖っているとか複雑というだけでなく、例えば、工具とホルダーと機械とが簡単に着脱できるとか、繰り返しの精度が良い、部品の面粗さや光沢を制御できる、工具に溝や凹凸を付与して加工時の摩擦抵抗を下げられる<sup>9)</sup>、工具刃先の研削加工時の亀裂をレーザーで除去することで寿命が延ばせる<sup>10)</sup>などが求められ、さまざまな観点で研究が行われている。

### ＜セラミックス切削工具の製造技術＞

2000年頃から、コンピュータやセンサーの普及や高度化により、セラミックス切削工具の製造装置の中で大きく進歩したのはプレス機、焼結炉、研磨機である。

NC制御により、機械のサーボモーターやリニアガイド、バルブ、流量計、加圧真空ポンプ、圧力計、

温度計などの同時計測，同時制御が可能となりそれらの機器を用いて，高い圧力や温度による処理や，精密な加工ができるようになり品質と安定性，再現性が向上した。またそれらの加工の最適化プログラムを組むためのシミュレーションソフトも開発され実用化されている。

切削工具のプレス成型は多くは金型による粉末プレス成型による。金型のつくりやプレス動作により出来栄が大きく変わる。表面状態や均質性，焼結時の収縮や歪などの品質に大きく影響を与える。最近ではNC制御の多軸プレス機を利用し，分割式の金型を使って複雑な形状を成型することが増えており，その構造をどうするのか，どう成型するかは各社がしのぎを削って，ノウハウを蓄積しアップデートしている。

焼結炉は過去にはガス炉やホットプレス炉がよく使われていたが，最近ではさまざまなガスを導入し流量や圧力，真空度を緻密に制御できる加圧真空焼結炉がよく用いられる。焼結は高いものでは3000℃，圧力は200MPaにもなるため，高性能かつ頑丈で安全な装置が必要になる。また廃熱利用や制御の最適化，加熱方式の改良，例えば直接抵抗加熱やパルス通電焼結，加熱水蒸気の利用なども注目されている。

セラミックス切削工具はプレス成型や焼結の制約があり研磨機による形状加工が必要である。研磨加工にはダイヤモンド砥石と多軸研磨機が用いられる。研磨砥石や条件の設定，クーラントの選定にもさまざまな研究開発がされている。加工には最近ではレーザーも用いられることがある。レーザーにより数ナノメートルの表面凹凸の形成や刃先の研磨が可能となっている。

### <セラミックス切削工具のこれから>

セラミックス切削工具の材料は資源としては豊富であり，また有害物質を含まず化学的にも安定しており環境に優しい。また高速加工が可能で長時間の使用に耐えられ，さらに軽量なので省エネにも役立つ。写真3は各種材料や形状のセラミックス切削工具である。

セラミック材料や工具形状，製法はまだまだ改良の余地がある。また，それを最適に使いこなすための工具の選定やツーリング，工具の貸出し，部品の



写真3 各種材料や形状のセラミックス切削工具

加工時の摩擦抵抗を下げたり，ホルダーに強固にクランプしたり，複雑な部品を加工することを目的にさまざまな形状の工具が開発されている。

加工代行，セラミック3Dプリンター，製品の販売から回収までのリサイクルとリユースなど，サービスも組み合わせてさらに普及させることで，業界の発展と環境の改善の一助となることを期待している。

### 文 献

- 1) 窯協 66(9) 1958 切削工具としてのセラミックの発展と諸問題 大草喜太雄，桑山則彦，東芝タンガロイ株式会社
- 2) 精密工学会誌 / 56巻 (1990) 1号 SiCホイスカ強化セラミック工具の切削特性 新谷一博，藤村善雄，生地智則，植木正憲
- 3) 特許第4574129号 複合構造体の製造方法 京セラ株式会社 中岡達行
- 4) 精密工学会誌 Vol. 86. No. 11 2020 セラミック工具およびセラミック複合工具 日本特殊陶業 波多野祐規，豊田亮二
- 5) 2007年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集 P. 641-642 複合加工旋盤におけるロータリ工具の加工特性 (第二報) 東京農工大 中島 宏 他，ヤマザキマザック 村木俊之 他
- 6) 2011年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集 P. 231-232 超耐熱合金の高速セラミックミリングにおける工具摩耗に関する研究 名古屋大学 江藤 潤，鈴木教和，社本英二，三菱重工業 吉田浩之
- 7) 「粉体および粉末冶金」第38巻第6号 P. 130-136 (1991) セラミック工具材料の研究及びその製造技術 日本タングステン 古川満彦
- 8) 日産技報 Vo. 21 P. 125-134 (1985) セラミックターボチャージャーの開発 渡辺亜夫 他
- 9) 特許第5843102号 切削工具 株式会社デンソー 永田雅亨，加納史義，土井 悟
- 10) 2016年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集 P. 709-710 短パルスレーザーで成形された切削工具の表面状態変化と切削性能の向上 名古屋工業大学 〇臼井亮介，糸魚川文広，中村隆

[連絡先] 波多野 祐規 (はたの ゆうき)  
NTK カuttingツールズ株式会社  
〒485-8510 愛知県小牧市大字岩崎 2808