

山根 八洲男氏のプロフィール

1948年10月24日、54才。1975年3月広島大学大学院工学研究科修士課程終了。同年4月東芝株式会社入社、1977年4月広島大学大学院博士課程入学、1980年3月同課程修了、同年4月広島電機大学助手、1985年4月広島大学工学部助教授、1995年5月同教授。

切削加工は “総合技術”

材料・工具・機械

セラミックス工具は何故のびないのか

広島大学大学院工学研究科 機械システム工学専攻

工学博士 山根 八洲男 教授

切削加工とは文字通り、金属などの材料を工具として使い、削り取って、定められた形や長さに仕上げる技術である。この工具を切削工具と呼び、バイト、フライス、ドリルなど様々な種類があり（表①）、材料の素材（アルミ、炭素鋼、焼入鋼、ダイス鋼、超耐熱合金、セラミックスなど）、形状（平面、円筒、穴、溝、ねじなど）によって組み合わせられて用いられている。

工具の材料は削られる材料（被削材）よりも硬く（少なくとも3倍以上）、かつ衝撃に耐えるための靱性（粘り強さ）が必要である。また、加工時には高温が発生するため、耐熱性や高温下での耐摩耗性が良いことが求められる。

現在使用されている切削工具材料としては、高速度鋼（ハイス）、超硬合金、サーメット（炭化チタン、窒化チタンを主成分）、セラミックス（酸化アルミニウム、窒化ケイ素など）、立方晶窒化ほう素、ダイヤモンドが主要なものである（表②）。

また、工具では現在、コーティング処理が使われるケースも多い。窒化物、炭化物、あるいは酸化物など優れた特性を持つ薄膜を表面にコーティングし、それぞれの工具材料の持つ弱点を補う技術である。コーティングの場合、先述した特性に加え、耐剥離性も必要となる。

いずれにしても、オールマイティの材料はないため、被削材の材

質、形状により、最適な工具を、選択する必要がある。例えば、切削速度（熱上昇の要因）とそれとの関係でみただけでも多様である。仮に炭素鋼では、セラミックス、コーテッド超硬合金、サーメット、超硬合金、高速度工具鋼などが適用する（表③）。

とりわけ、最近では高品質化の一方でコスト削減などが求められるなどの状況の変化が急進している。マグネシア業界から見ても、セラミックス工具の動向についても興味のあるところである。

そこで、特集・マグネシア業際技術として「切削加工技術の今、そして今後」について、広島大学大学院工学研究科機械システム工学専攻の山根八洲男教授にインタビューすることにした。山根教授は、切削技術・研究に関する我国の第一人者である。

**比率5〜6%で変わらな
いセラミック工具需要**

―切削加工の位置付けについて。

山根・切削加工とは工具と被削材と工作機械を含めた総合技術です。ですから技術の方向性は被削材だけ、あるいは工具材料だけを見ては分かりません。我々の身のまわりにある殆どのもが、千差万別に切削加工されています。それだけ幅広く使われていますが、最終製品では工具の存在は見えない。その意味で、一般的には取らえ難い存在かも知れません。

―**切削工具の需要動向**は。

山根・自動車関連でとりわけ豊富に使われています。例えば、スローアウェイ (throwaway・刃先交換) 工具はチップの需要量だけで年間一億個以上あり、非常に大きな市場といえます。分野別では、コーテッド工具が最も多く使われ、5割前後を占め、サーメットが2〜3割、超硬が2割前後、セラミックスが5〜6%という構成にあります。コーテッド工具が徐々に比率を上げてはいますが、セラミックス工具の比率は全体の需要量の変化と関係なく、20年間、ほぼこの比率が続いています。

コーテッド工具は超硬工具の表

面に硬質層を被覆したものです。炭化チタン (TiC)、窒化チタン (TiN)、酸化アルミ (Al₂O₃)、窒化アルミ (AlN) などの材質としてはセラミックスに分類されるものが、コーティングされ、摩耗性、耐熱性などを増しているわけです。

純粋なセラミックス工具は伸びてはいませんが、セラミックスの特性を生かしたコーテッド工具の比重が高い。全てが超硬工具をベースで、資源面や環境面からこんな思いもありませんが、現実問題として、それに代わるものは今はありません。仕方がないですね。

コーテッド工具が主流

―**コーテッド工具が今後も主流**となるわけですか。

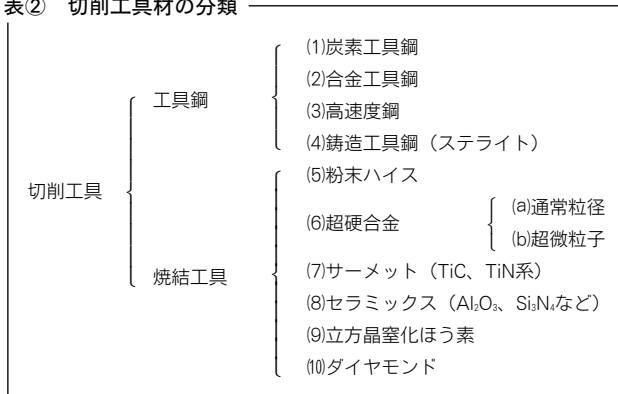
山根・今は非常に大きな割合を占めています。今後も様々な製品が開発されていくでしょう。やはりベースが超硬工具であることはネックといえます。資源問題としてとらえるとタンクステンやコバルトなど産出する国や地域は限定されていて、永久的に安定供給されるものではありません。スローアウェイ工具は使い捨てであり、工

具、チップとしては小さいですが、世界的規模では大量の廃棄物となっている。リサイクルも難しい。例えば、ここに1cm四方厚さ5mmの工具があります (写真)。使ったのは上4コーナー、下4コーナーの8ヶ所でそれぞれ1mm×1mm程度とすぎません。しかし、精密なものを削るので、摩耗幅が数100μmで精度が出なくなる。そうなる

表① 切削加工法の種類

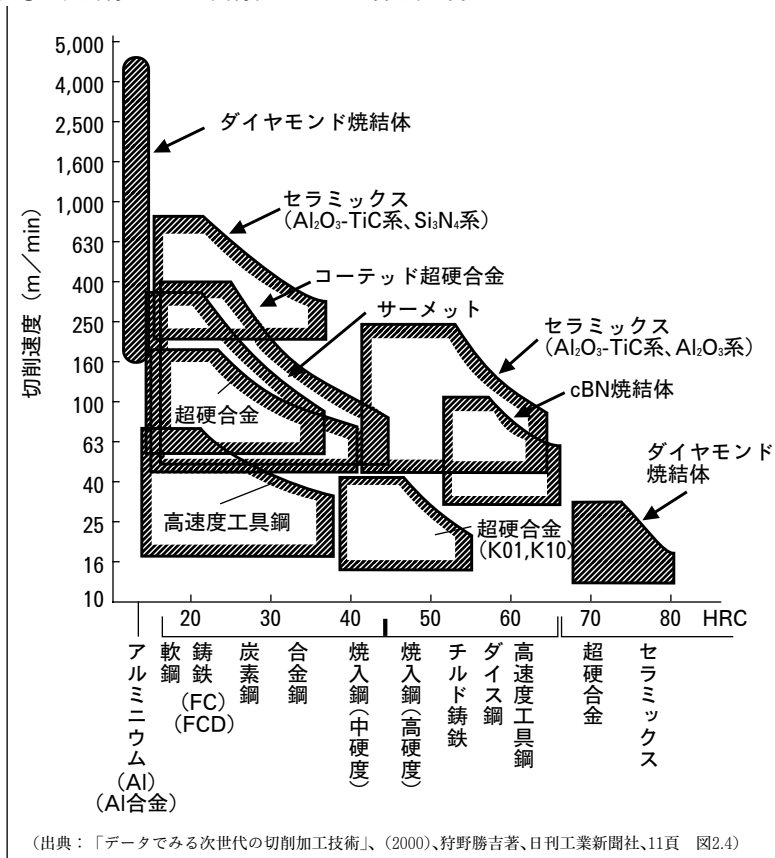
| 分類 | 切削法 | 工具 | 工作機械 | 主な加工面形状 |
|----------------|--|----------------------------------|--|---------------------------------|
| 単一刃工具 によるもの | 施削 中ぐり 平削り | 旋削バイト 中ぐりバイト 平削りバイト | 施盤 中ぐり盤 平削り盤 | 円筒外面、円錐面 円筒内面 平面 |
| 多刃工具 によるもの | フライス加工 (ミーリング) 穴あけ リーマ仕上 ブローチ加工 ホブ切り | フライス ドリル リーマ ブローチ ホブ | フライス盤 ボール盤 ボール盤、施盤 ブローチ盤 ホブ盤 | 平面、溝 丸穴 丸穴 異形穴 歯車歯面 |

表② 切削工具材の分類



交換せざるを得ない。今後は工具の再利用が問題となるでしょう。―**基本的な質問ですが、工具に求められる特性とは何ですか。**
山根・工具は削る材料との兼ね合いが非常に重要です。まず、硬さ、次に靱性、耐反応性、その他色々ありますが、この3つの性質が重要です。セラミックスの特長は非常に硬いが靱性は低い。その一方で耐熱温度は高い。ですから、これらの特長を生かすとすればベースとなるセラミックスは非常に靱性のあるものを使用して比較的硬いセラミックスをコーティングするなどが考えられます。超硬工具がコーテッド工具に進化していつ

表③ 被削材硬さと工具材種および適用切削速度



たように、セラミックス工具がコーテッド工具に近づいていく事も有り得ます。まだ、そんなことは技術的に難しいので取り組まれてはいませんが。

―切削工具の研究の方向性については。

山根・なるべく長時間、安定して削れる工具を一方で材料側もなるべく削りやすいものの研究を進めています。

―常に工具と材料との関係を探っていく必要があるわけですか。

山根・ある材料があつて、それに対し、どの様な工具を持つてくるかは非常に大事なポイントです。そこを誤ればとんでもないことになるし、フィットすれば上手に使える。ところが、この最適な工具を選択するというのが容易ではない。

例えば、工具メーカーからすれば新しい工具を開発して、この被削材にはこれだけの効果があります。一方、材料メーカーも削りや

―再度、セラミックス工具の話になりますが、技術革新という意味では、この20年間、画期的な開発はなかったわけですね。

山根・そうですね。セラミックスが工具として使われているのはアルミナ (Al₂O₃) 系が殆どです。純アルミナ、アルミナ+炭化チタン、アルミナ+ジルコニア (酸化

センサー工具などの技術革新が必要

―工具の種類も増えていきますね。

山根・コーテッド工具は表面の膜の性質によって全く変化します。膜の材質も増えだし、形状もそうです。四角の上に色々な切りくずを切るためブレイカーがあつたりする。多様です。

―工具の種類も増えていきますね。

山根・コーテッド工具は表面の膜の性質によって全く変化します。膜の材質も増えだし、形状もそうです。四角の上に色々な切りくずを切るためブレイカーがあつたりする。多様です。

―工具の種類も増えていきますね。

山根・コーテッド工具は表面の膜の性質によって全く変化します。膜の材質も増えだし、形状もそうです。四角の上に色々な切りくずを切るためブレイカーがあつたりする。多様です。

―セラミックス工具も技術のブレイクスルーが必要である。

山根・そうですね。私は一つ面白い実験に取り組んでいます。セラミックス工具の表面に窒化チタンをコーティングして帯状のパターンを切り、このパターンがセンサになっていきます。削っていくと帯状

―セラミックス工具も技術のブレイクスルーが必要である。

山根・そうですね。私は一つ面白い実験に取り組んでいます。セラミックス工具の表面に窒化チタンをコーティングして帯状のパターンを切り、このパターンがセンサになっていきます。削っていくと帯状

ジルコニア) が代表的です。この他、窒化ケイ素 (Si₃N₄) 系があります。いずれにしても古い工具材です。あまり変わっていないというのが正直なところ。いかにせん今のところセラミックスには靱性が低いという特性の限界がある。

今、主流のコーテッド工具も1960年代に西ドイツ、スウェーデンで開発されましたが、初期のものは表面の被覆部分がよく剥がれました。80年代半ばから安定して使えるようになって急速に普及した経緯があります。



センサ機能を持つセラミックス工具

Cutting process can be achieved by "combined technology" Work materials, tools, machinery

Why ceramics tools do not increase?

Prof. Yasuo Yamane, Professor of Department of Mechanical Engineering Hiroshima University

--Concerning the position of the cutting process

Prof. Yamane: Cutting process involves a combined technology which includes tools and the work material to be cut, as well as the machinery. Therefore the course of the technology can not be understood by looking at just the material to be cut, nor the tools and materials. Most of the items surrounding us are cut and finished in a multitude of ways. For this reason, cutting tools are widely used, but they are not visible in the final product. People are generally not aware of the tools.

-- What can you tell us about the trends in the demand for cutting tools?

Prof. Yamane: A very large number of cutting tools are used in the automotive area. For example, throwaway tools amount to over 100 million units a year just with the volume of demand for chips, so that this can be considered as being a very large market. As for each area of application, coated tools have been gradually increasing their ratio, but the ratio of ceramics tools is almost constant in the overall volume of demand and this has lasted for about 20 years.

Coated tools are the main type

--Does this mean that coated tools will remain as main ones?

Prof. Yamane: Right now they account for a very large ratio. Various products will be developed too. That the base is tungsten carbide is a neck. Considering as resource problem, The countries and areas that produce tungsten and cobalt are limited. These are not items, which can be supply in a stable fashion permanently. Throwaway tools are used and discarded, and for chips they are small, but globally they form a huge volume of waste material. Recycling is also difficult. For example, there are tools which are 1cm×1cm with a thickness of 5mm. (Photo) They are used at 8 places, for the upper 4 corners, the lower 4 corners. Used area does not exceed 1mm×1mm respectively. Because, however, they cut precise things, if the range of wear exceeds several 100um, the precision is lost. Once this happens, they have to be replaced. The re-use of the tools will probably become future subject.

--What direction is the research headed in?

Prof. Yamane: We are doing research on materials and tools which can cut in a stable fashion over a long period of time, and which are easy to cut.

Technical innovation for tools is needed.

-- I would like to bring up the topic of ceramic tools again. During the past 20 years there has not been any outstanding development in terms of technological innovation, has there?

Prof. Yamane: That's true. The ceramics used for tools is mainly the alumina (Al₂O₃) type. Pure alumina, alumina and titanium carbide, alumina and zirconia (zirconium oxide) are typical types. The silicon nitride (Si₃N₄) type is also used, but in any case these are older tools. Quite honestly there has not been much change. As of this point, there is a certain limitation in the features of ceramics in that toughness is low. Even the main type, coated tools, was developed in the 60's in the then West Germany and Sweden. For the earlier types, there was a tendency for the surface covering to fall off. From around the middle of the 1980's this became stable and the tools began to be used, with a rapid spreading in use.

--Even ceramic tools require a technological breakthrough.

Prof. Yamane: Yes. I am involved in a very interesting experiment. The surface of the tool is coated with titanium nitride and a pattern is engraved on it. This pattern becomes a sensor. When cutting, the film pattern on the surface is cut by mean and the electrical resistance becomes unlimitedly large. Using this, a signal chipping with the ceramics tool or a signal indicating a wearing out appears. This is a sensor tool. This is a self warning tool which says change the chip corner soon or change the whole. For this the base must be non conductive ceramics.

-- Can not tungsten carbide tools be base?

Prof. Yamane: Tungsten carbide tools let electricity through. There cannot be a sensor with for which the base is conductive ceramics. On this point, I feel that these are tools which make full use of the ceramics feature. With the accumulation of this type of technology, I am thinking of having the ratio of ceramics tool in the cutting tool, (throwaway), to be 10%.

の膜が摩耗により切れる。切れると電気抵抗が無限大となる。これを使って、セラミックス工具を使って、欠けたあるいは摩耗したという信号を出す。センサ工具です。

そろそろ刀先を変えて下さい、あるいは全体を変えて下さいという自己申告できる工具です。これはベースが非電導性のセラミックスでなければできない。

—中が超硬工具ではないので
すか。
山根・超硬工具は電気を通します。ベースが導電性ではセンサにならない。この点で、セラミックスの

特長を生かした工具になると思いますが。こうした技術の積み重ねによって、セラミックス工具の切削工具(スローアウェイ)に占める構成比を10%にしたいと考えています。