

# 鋼フライス用PVD工具「エースコートACZ330」の開発

高 梨 智 裕・森 口 秀 樹・山 縣 一 夫  
 津 田 圭 一・月 森 康 夫・福 安 良 夫  
 今 村 晋 也・二 越 正 史

Development of PVD coated insert for Steel Milling – ACE COAT ACZ330 – by Norihiro Takanashi, Hideki Moriguchi, Kazuo Yamagata, Keiichi Tsuda, Yasuo Tukimori, Yoshio Fukuyasu, Shinya Imamura and Masafumi Nigoshi Sumitomo Electric has developed the new PVD coated insert for steel milling, ACE COAT ACZ330, which is applicable to milling of various workpieces ranging from carbon steel to alloy tool steel. Newly developed ACZ330 inserts feature the special tough substrate and the new PVD coating, NEW ZX COAT. The special tough substrate which is optimized the amount of complex carbides provides high thermal crack resistance, adhesion resistance, and breakage resistance. Also, the NEW ZX COAT offers substantially improved surface roughness and peeling resistance, as well as chipping resistance that was gained by optimizing the stress in coated layers. By combining this new product with other Sumitomo Electric's cutting tools, such as the SEC-WaveMill WEM type, the SEC-WaveBall WBMR type and the SEC-WaveMill WRC type, various customer demands can be satisfied high efficiency machining and low machining cost, for example.

## 1. 緒 言

超硬合金母材の表面にセラミック膜を被覆したコーティッド超硬は、母材の強靱さとセラミック膜の硬さを兼ね備えた複合材料である。他の工具材料と比較して汎用性が高いことから、年々使用比率が高まっており、現在では刃先交換型工具材料の50%以上を占めている(図1)。

コーティッド超硬の製造に用いられているコーティング手法には、大別してCVD法とPVD法の2種類がある。それぞれのコーティングの特徴を表1に示す。

これらの特徴から、フライス加工のように工具の靱性が要求される用途では一般にPVD法を用いたコーティッド超硬が使用されている。

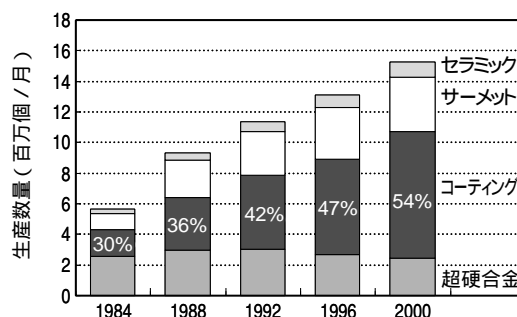


図1 日本国内における刃先交換型工具の生産量

近年、ユーザーニーズの多様化により、商品のライフサイクルが短くなり、新製品の開発リードタイムの短縮、開発コストの削減が強く求められている。製造業の基盤を支

表1 刃先交換型工具に使用されるコーティングの手法とその特徴

方法	CVD法	PVD法
原理	化学反応	物理蒸着
コーティング物質	TiC, TiN, TiCN, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 等	TiC, TiN, TiCN (Ti, Al)N等
セラミック膜中の残留応力	引っ張り応力	圧縮応力
長所	① 密着強度が高い ② 耐熱性の高いAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> がコーティング出来る ③ 膜厚の均一性が高い	① セラミック膜に圧縮応力が発生するため母材の強度を低下させない ② 膜の強度が高いため、刃先の鋭利なものにもコーティングできる ③ セラミック膜の表面粗さが良い
短所	① セラミック膜の強度が母材の強度より低い ② 母材と膜の界面に脆化層が生成されやすい ③ 刃先の鋭利なものに使用しにくい	① CVD法に比べて密着強度が劣る ② 酸化物(特にAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )がコーティングしにくい ③ 膜の付き回りが悪い
主な用途	旋削用工具, 耐摩工具	フライス用工具, エンドミル, ドリル

える金型産業においても、金型製造の短納期化，加工コストの削減が強く求められており，複雑な形状を効率良く加工するために，高速，高能率切削が可能な工具材種や正面フライス加工，突っ込み加工，倣い加工や球面加工等，種々の加工が可能な多機能工具へのニーズが高まっている。また，金型鋼には用途により炭素鋼，低合金鋼，プレハードン鋼，ダイス鋼等多くの種類があり，これらすべての加工に対応できる上，高速，高能率で加工でき，信頼性が高く，かつ長寿命の工具が強く求められている。

これらのニーズに応えるため，このたび鋼フライス加工用PVDコーティング材種「ACZ330」を開発したので，その開発経緯及び性能について述べる。

## 2. 金型加工における工具の必要特性

2-1 金型用材料 金型材には用途に応じて多種多様な材料が存在する。それらの分類と材料を表2に示す。

2-2 工具の必要特性 金型材を工具損傷形態で分類すると，大きく4種類に分類される。その分類と工具損傷の特徴を表3に示す。

### ①分類

工具の摩耗に加えて，加工時の熱履歴に伴う亀裂（熱亀裂）が進行する。また，その亀裂を起点とした欠損に至る場合もある。従って，工具の耐摩耗性に加えて，工具母材の耐熱亀裂性が必要となる。

### ②分類

SKD材には，クロム，バナジウム，モリブデンといった難削系の添加物が多く含まれるため，被削性は悪い。そして工具母材との親和性が高いため，加工時に被削材が工具材料に溶着し，その溶着物の着脱により工具損傷が大きく進行する。

従って，工具母材としては，耐溶着性に優れた材質にする必要がある。また，セラミック膜を被覆することにより，超硬母材への溶着を抑えることも重要である。しかしそのセラミック膜も，密着強度が低いと溶着物の着脱により膜

表2 金型の分類と金型用材質

分類	金型種類	金型材質
冷間型	プレス金型 鍛造型（冷間加工） 粉末冶金金型	・工具鋼 ・SK（炭素工具鋼） ・SKS（特殊工具鋼） ・SKD11系（冷間ダイス鋼） ・SKH（ハイス（高速度工具鋼）） ・超硬 ・Zn合金（簡易型）
温間型	鍛造型（温間加工）	・工具鋼 ・SKD系（熱間ダイス鋼） ・セミハイス系 ・ハイス ・超硬
熱間型	ダイカスト金型 鍛造金型（熱間加工） 鍛造金型 ガラス金型 押出型	・工具鋼 ・SKD 6, 7, 8系（熱間ダイス鋼） ・セミハイス ・マルエージング鋼 ・超合金
射出型	プラスチック金型 ゴム金型	・各種プラ型用鋼（SC, SCM, SKD, 析出硬化鋼（NAK55, 80）ステンレス系, マルエージング鋼, 他） ・Al合金（簡易型） ・Zn合金（簡易型）

の剥離が発生し，母材が露出すると大きく損傷が進行するため，密着強度の高い膜が必要となる。

### ③分類

加工材料の硬度が比較的高いため，加工時の切削温度が高く摩耗の進行が早い。摩耗の進行により切削抵抗が増加すると，熱亀裂の発生や，工具材料の塑性変形が生じ，欠損に至る。従って工具の耐摩耗性と耐欠損性との両立が必要となる。

### ④分類

加工材料の硬度が非常に高いため，一般のフライス用超硬材質では摩耗の急激な進行や塑性変形により，極短時間で工具寿命となる。そのため，母材硬度の高いセラミックやCBN工具が使われる。

以上の特徴から，分類を除く分類～の金型材におけるフライス用工具材料への要求特性と，それぞれの必要特性との相関をまとめると図2のように整理できる。

表3 工具損傷形態別の金型材分類

	金型材	硬さ（HRC）	被削性	代表的な損傷状態	損傷の特徴
分類	一般構造用鋼（SS材） 機械構造用炭素鋼（S50C, S55C） 炭素工具鋼（SK材） 構造用合金鋼（SCM材） など	HB150～280程度	良い		熱亀裂，摩耗
分類	合金工具鋼（SKD材）の 非熱処理材	HB200～230程度	悪い		溶着摩耗
分類	プレハードン鋼（NAK材） 高速度工具鋼（SKH材） など	HRC25～40程度	比較的良い		摩耗，熱亀裂，塑性変形
分類	合金鋼や合金工具鋼などを熱処理 により焼入れたもの	HRC45以上	悪い		摩耗，チッピング，塑性変形， フレーキング

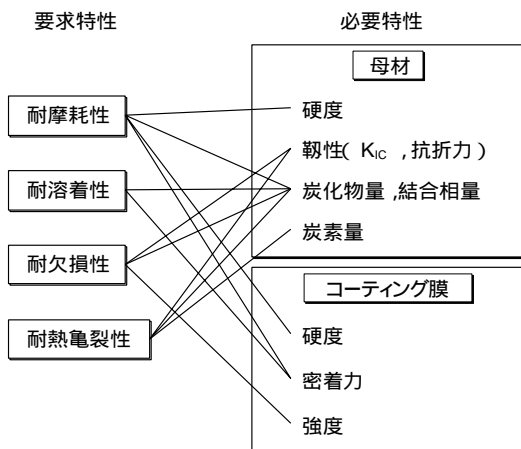


図2 金型材加工における要求特性

### 3. ACZ330の特長

3-1 超硬母材の特長 合金組成と切削特性の相関を表4に示す。

表4 合金組成と切削特性の相関

超硬合金の成分	Ta,Ti系炭化物量	耐熱亀裂性	耐溶着性	韌性
WC-TiC-Ta(Nb)C-Co	多い	劣	優	劣
		↓	↑	↓
WC-Co(+少量のTaCなど)	少ない	優	劣	優

従来フライス用材料はTa, Ti系炭化物を多く含む超硬合金(WC-TiC-Ta(Nb)C-Co系)が主流であった。この系の合金は、被削材との親和性が低く耐溶着性や耐摩耗性に優れるという特長がある反面耐熱亀裂性や韌性が低いという欠点があった。近年、3次元形状ですくい角が大きい刃型を持った工具が開発され、特に金型加工では主流を占めるようになってきている。この場合この系の合金では刃先強度が不足するため、耐熱亀裂性や韌性に優れた、WC-Co系超硬合金(Ta, Ti系炭化物を殆ど含まない超硬合金)を母材に採用することが一般に行われている。

一方WC-Co系超硬合金は、耐欠損性や耐熱亀裂性には優れるが、被削材との親和性が高いため、表面のセラミック膜の剥離や摩耗等により母材が露出すると、溶着摩耗の進行により損傷が急激に進行するという問題点があった。

そこでこれらの問題を解決するため、ACZ330では、それらの中間的な特性を有する超硬合金母材を採用することによりこれらの特性を最適化することを試みた。その結果、Ta, Ti系炭化物を多く含む超硬合金母材に対しては、耐熱亀裂性と耐欠損性を大幅に向上させることで工具強度を向上させ、すくい角の大きい刃型等の多様な工具に適用可能となり、WC-Co系超硬合金母材に対しては、耐溶着性と耐摩耗性を向上させることが可能となったが、Ta, Ti系炭化物を多く含む超硬合金母材に対しては耐溶着性が劣

り、WC-Co系超硬合金母材に対しては、耐熱亀裂性で劣る結果となった。

そこで、耐溶着性に関しては、Ta, Ti系炭化物などの添加物が金型材の切削特性及ぼす影響を詳細に調査し、適正元素の選択と投入量の最適化を行った結果、母材と被削材の親和性をTa, Ti系炭化物を多く含む超硬合金母材並に維持することに成功した。

また、WCを含めた炭化物の粒度と結合相量を最適値に制御することで、破壊韌性値( $K_{1c}$ )と抗折力を大幅に向上させることに成功した。(図3, 図4)破壊韌性値は亀裂の進行に対する抵抗値を示し、抗折力は材質の強度を示す。これにより耐熱亀裂性と耐欠損性をWC-Co系超硬合金母材並に向上させることに成功した。

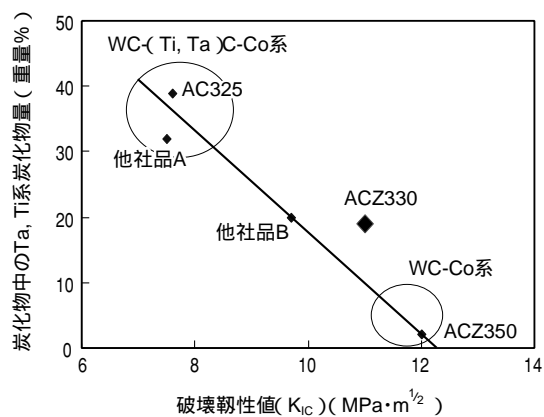


図3 ACZ330の母材特性1

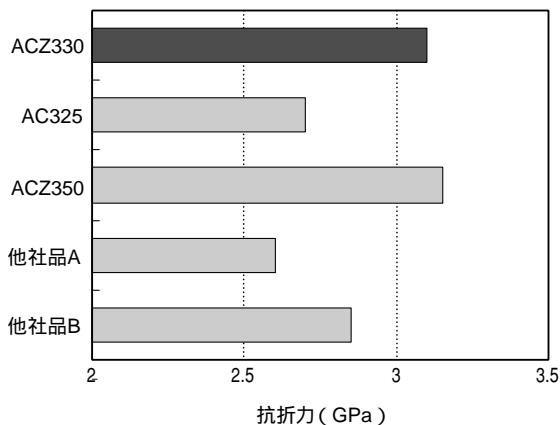


図4 ACZ330の母材特性2

以上のことから、ACZ330の母材は、Ta, Ti系炭化物を多く含む超硬合金母材とWC-Co系超硬合金母材の中間的な組成ではあるが、それぞれの優れた特徴を兼ね備えた合金となっている。

3-2 セラミック膜の特長 ACZ330は、新開発のPVDコーティング「新ZXコート」を適用している。「ZXコート」は、図5に示すようにPVDの膜質では、第4世

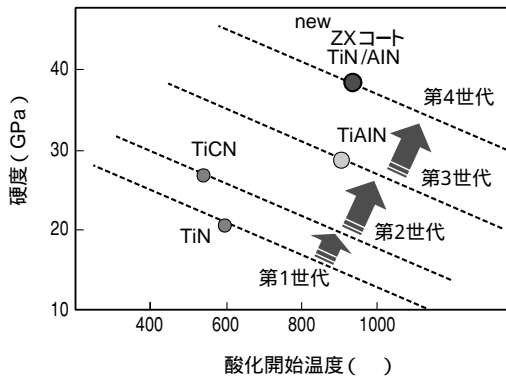


図5 新ZXコーティングの位置付け

代に当たり、従来のPVDコートに比べ高硬度で高い耐酸化性を有する当社独自のセラミック膜質である。

「新ZXコート」では、これらの特徴に加えて、

- ① 膜表面の平滑性
- ② 密着力
- ③ 膜強度

を向上させている。

アーク法で行うPVDコートは、コーティング中のアーク放電により基板上で発生した溶融金属が母材表面に付着する。付着した溶融金属により表面粗さが低下し、表面の凹凸部に被削材が凝着することで、膜剥離や仕上げ面粗さの低下を招くという問題がある。新ZXコートでは、この溶融金属の付着を大幅に低減することで、コーティング表面の面粗さを従来の1/4に低減させることに成功した。

(図6)

新ZXコート Ra0.1 μm      ZXコート Ra0.4 μm

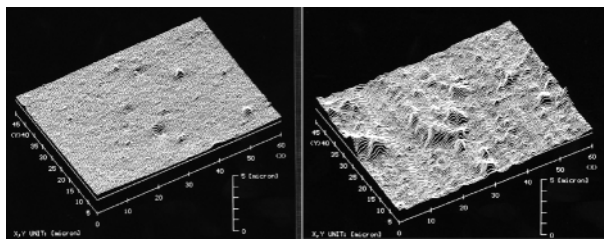


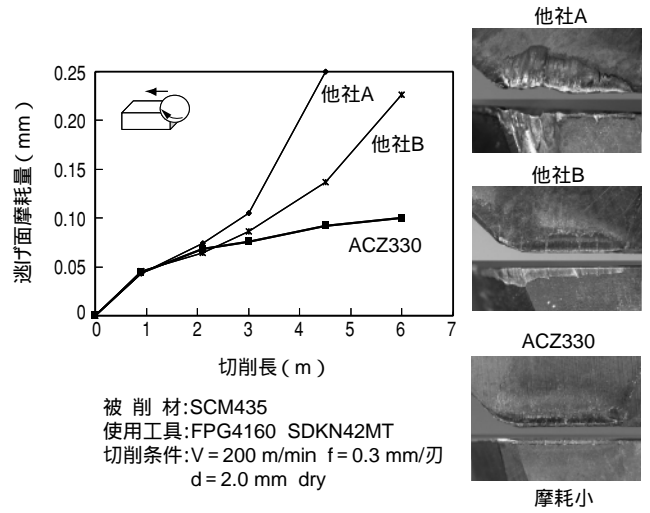
図6 コーティング表面粗さ比較

また、冒頭で述べたようにPVD法によるセラミック膜中には、圧縮応力が残留しており、この圧縮応力によって、膜の強度が向上し、母材強度の低下を防ぐ。しかし、圧縮応力が高くなりすぎると、逆に加工中の負荷により膜が破壊され、膜剥離を助長する場合がある。新ZXコートでは、この圧縮応力を最適化することで、密着力と膜強度を向上させることに成功した。

上記母材とセラミック膜の組み合わせにより、ACZ330は金型材のフライス加工用工具材料の要求特性を満たす材質とすることができた。

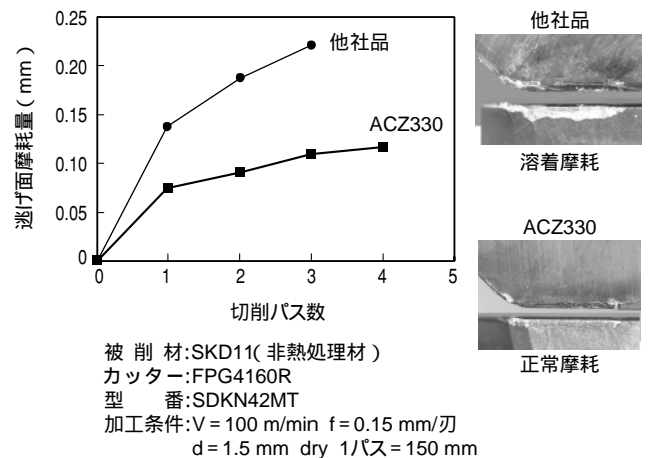
#### 4. ACZ330の切削性能

ACZ330の切削性能を図7～図10に示す。



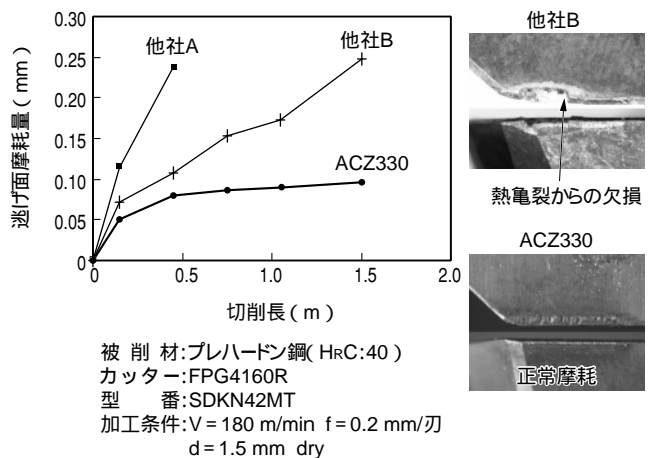
被削材:SCM435  
使用工具:FPG4160 SDKN42MT  
切削条件:V=200 m/min f=0.3 mm/刃  
d=2.0 mm dry

図7 ACZ330の切削性能1



被削材:SKD11(非熱処理材)  
カッター:FPG4160R  
型番:SDKN42MT  
加工条件:V=100 m/min f=0.15 mm/刃  
d=1.5 mm dry 1パス=150 mm

図8 ACZ330の切削性能2



被削材:プレハドン鋼(HrC:40)  
カッター:FPG4160R  
型番:SDKN42MT  
加工条件:V=180 m/min f=0.2 mm/刃  
d=1.5 mm dry

図9 ACZ330の切削性能3

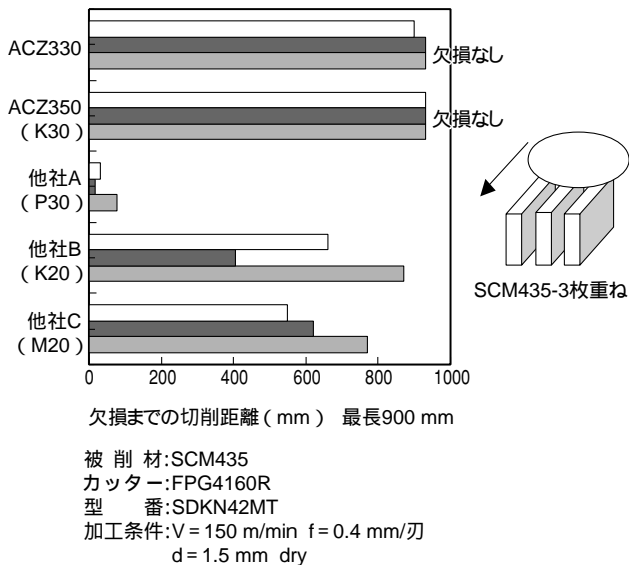


図 10 ACZ330の切削性能4

4-1 ACZ330の耐摩耗性その1 (SCM435) 他社製品は、摩耗が進行し母材が露出している。また損傷部分には熱亀裂も多数認められる。一方、ACZ330の摩耗は小さく抑えられており、かつ熱亀裂の発生も少ない。これは、セラミック膜の密着強度を向上させたこと、及び母材の耐熱亀裂性を向上させた効果により、摩耗の進行と熱亀裂の発生が抑えられたためであると考える。

4-2 ACZ330の耐摩耗性その2 (SKD11 非熱処理材) 他社製品は、膜剥離による溶着摩耗の進行が認められるのに対し、ACZ330は摩耗が小さく抑えられていることがわかる。これも、膜の密着強度を向上させた効果と母材の耐溶着性を向上させたことにより、摩耗の進行が抑えられたためと考える。

4-3 ACZ330の耐摩耗性その3 (プレハードン鋼) 他社製品は、急激に摩耗が進行しているものや、摩耗の進行に伴う熱亀裂の発生と塑性変形により欠損しているのに対し、ACZ330は極小さな摩耗に抑えられている。これは、ACZ330のセラミック膜が耐摩耗性と密着強度に優れていることから、摩耗の進行が抑えられ、また母材強度が高いため欠損の発生が抑えられたためと考える。

4-4 ACZ330の耐欠損性 ACZ330は、他社製品に対して非常に高い耐欠損性を示していることがわかる。これは、母材強度が高いことに加え、セラミック膜の応力制御により、膜強度が大幅に向上した効果によるものと考えられる。

## 5. ACZ330の使用実例

図 11 に ACZ330 のユーザーでの使用実例を示す。

これらの使用実例により ACZ330 は、多種の被削材の加工において従来材質又は他社製品に対し能率向上、長寿命化、損傷の低減が図られていることがわかる。

<使用実例 1>

加工物:建築用構造部材  
 ワーク材質:SS440  
 工具型番:WMM3033E  
 チップ型番:APMT160508PDER  
 工具径: 33  
 加工条件:V = 124 m/min f = 0.2 mm/刃 d = 2.0 mm

寿命比較

加工数

ACZ330 ACZ350

WMM3033E

<使用実例 2>

被削材:SUS304(座繰り加工)  
 工具:WEM3050F APMT160508PDER-H  
 加工条件:N = 260 rpm V = 40 m/min dry  
 ft = 0.100 mm d = 3.0 mm ACZ330(能率1.5倍加工)  
 ft = 0.078 mm d = 2.5 mm ACZ350

ACZ330 2 pcs/c 現行品:ACZ350 1 pcs/c

<使用実例 3>

加工物:金型ブロック  
 ワーク材質:SKD11,SKH9  
 工具型番:16X(8枚刃)  
 チップ型番:SKDN42MT  
 加工条件:N = 225 rpm V = 66 m/min f = 0.07 mm/刃  
 d = 粗1.5 mm 仕0.025 mm

ACZ330 現行品:他社品

<使用実例 4>

加工物:金型ブロック  
 ワーク材質:SKD61相当  
 工具型番:特殊カッタ 35X(14枚刃)  
 チップ型番:SKDN42MT  
 加工条件:  
 粗 V = 80 m/min f = 0.15 mm/刃 d = 1.5 mm 6/パス dry  
 仕 V = 160 m/min f = 0.07 mm/刃 d = 0.2 mm 1/パス dry

ワーク形状

ACZ330 現行品:他社品

図 11 ACZ330のユーザー使用実例

## 6. ACZ330の推奨使用条件

図 12 に ACZ330 の推奨使用条件を示す。

## 7. 結 言

「エースコート ACZ330」は、正面フライスカッタの用途はもちろんのこと、当社の金型加工用工具であるウエーブエンドミル（WEM）、ウエーブボールエンドミル（WBMR）、ウエーブラジASMIL（WRC）等との組み合わせにより、一般鋼から金型鋼加工全般を幅広くサポートし、短納期化や加工コストの削減に貢献できるものと確信する。

### 執 筆 者

高梨 智裕：粉末合金事業部 開発部  
 森口 秀樹：粉末合金事業部 開発部 課長  
 山縣 一夫：粉末合金事業部 開発部 主席  
 津田 圭一：粉末合金事業部 開発部 主査  
 月森 康夫：粉末合金事業部 開発部  
 福安 良夫：粉末合金事業部 生産部  
 今村 晋也：粉末合金事業部 開発部  
 二越 正史：粉末合金事業部 開発部

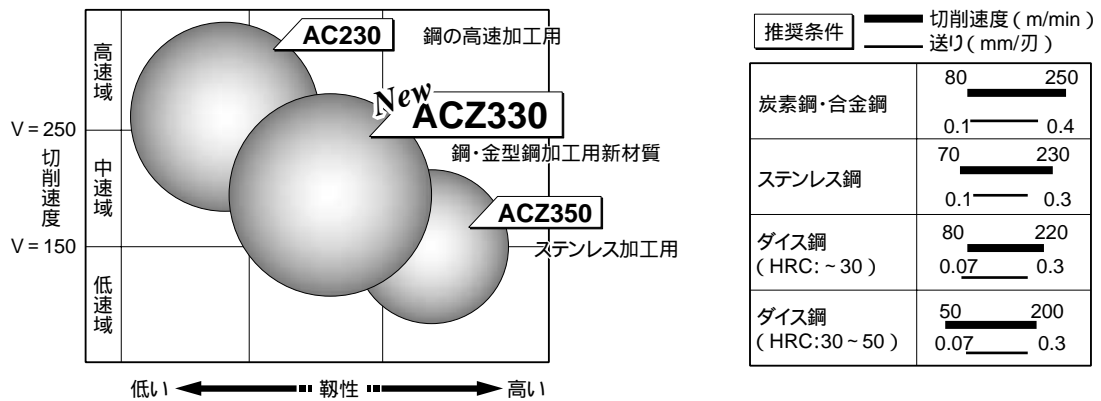


図 12 ACZ330の推奨条件

エースコート、エースコートAC、ZXコート、ZX COATは住友電工の登録商標です。