

## B1 Machining

ステンレス鋼の高品位加工、長寿命を実現した

### 「アクアREVOミルステンレス用」

"AquaREVO Mills for Stainless Steel"

Achieving high-quality milling of stainless steel with a long tool life

**キーワード** | アクアREVOミルステンレス用・ステンレス鋼  
切りくず離れ・エアフルート・接触長さ・高品位・長寿命

工具事業部／工具技術部

重田 将 Sho Shigeta

## 要 旨

ステンレス鋼は、耐食、耐熱、耐久性に優れた特徴をもつ反面、非常に加工しづらい材料である。切削時の切りくず離れが悪く、噛み込み傷や詰まりといった排出時の問題が起きやすい。また、切削時の応力により切削抵抗が大きくなり、高能率加工ができない。熱伝導率が低く、工具刃先の摩耗が進行しやすいといった問題も挙げられる。「アクアREVOミルステンレス用」は新開発の溝形状エアフルートを採用し、切りくずとすくい面の接触長さを抑制。切りくず離れを向上させ、これらの問題点を解決し、高品位・高能率、長寿命な加工を実現した。

## Abstract

Stainless steel has excellent characteristics such as anti-corrosion, heat-resistance and durability although it is very difficult to be machined. Chips from stainless steel do not easily discharge, which is likely to cause scratches from biting on the steel surface and chips sticking to the work and machine. In addition, cutting resistance increases due to stress during cutting, making it difficult to perform highly efficient machining. There is a tendency of earlier wear of a cutting edge caused by lower thermal conductivity.

However, “AquaREVO Mill for stainless steel” has adopted the newly-developed air flutes which reduce the length where chips contact with a rake face. It has realized improvement in chip discharge, has resolved associated problems and has achieved the milling of high quality and high efficiency with tool longevity.

## 1. 開発の背景

近年、カーボンニュートラルの実現やSDGsへの取り組みなど、環境に対する社会の動きが活発になっている。工業製品に使用される材料もその影響を受け、高強度、高耐久で劣化しづらく、再利用可能な材料が求められており、その1つがステンレス鋼である。

ステンレス鋼は「錆びにくい」「熱に強い」「強度がある」といった耐食、耐熱および、耐久性に優れた特徴を兼ね備えている。また、単一素材としての溶解再生が非常に安易に行なえるため、リサイクル性にも長けた材料である。その反面、切削加工では非常に加工しづらい材料として難削材に分類されている。

ステンレス鋼は展延性が大きいいため、加工により生成される切りくずは、切れ刃すくい面に沿ってのび、工具の溝にはまり込みやすくなる。さらに、工具に溶着し、切りくず離れが悪くなり、切りくずの噛み込みや詰まりといった排出時の問題も起きやすい。また、切削時の応力により切削抵抗が大きくなり、高能率加工ができない。熱伝導率が低い特性から、工具の刃先に熱が溜まるため、摩耗の進行やチッピングといった短寿命の問題も挙げられる。本稿では、これらの問題点を解決し、高品位で高能率かつ長寿命な加工を実現した「アクアREVOミルステンレス用」(図1)の特長と加工事例について紹介する。

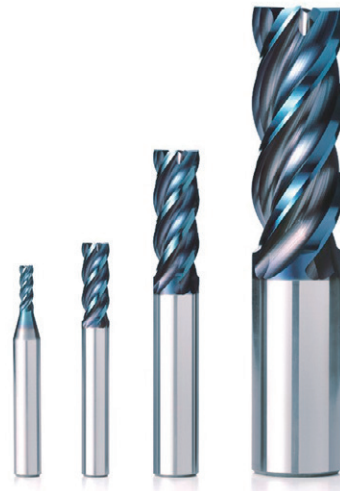


図1 「アクアREVOミルステンレス用」

## 2. 「アクアREVOミルステンレス用」の特長

アクアREVOミルは、“ものづくりの世界に革命を起こす”をコンセプトに2019年12月から発売した超硬エンドミルである。工具の基本要素である材料・形状・コーティングの一新によりすべての性能を飛躍的に向上し、長寿命・高能率・多用途を実現した。今回、アクアREVOミルシリーズに、ステンレス鋼の加工に抜群の性能を発揮する「アクアREVOミルステンレス用」を

2022年11月に追加発売した。「アクアREVOミルステンレス用」は、アクアREVOミルシリーズで開発した材料・コーティング技術を継承し、工具形状はステンレス加工の問題を解決するために新開発の溝形状エアフルートを採用。切りくず排出性の向上、切削抵抗の低減および、工具刃先への加工熱の発生を抑制した。

## 3. エアフルートの効果

### 1) 切りくず排出性の向上

新開発の溝形状エアフルートは切りくず処理にこだわった溝形状である。図2に従来品と「アクアREVOミルステンレス用」の溝形状の違いを示す。従来の溝形状に対し冷却溝を設け、加工中に生成される切りくずとすくい面との接触長さを短くすることで、切りくず離れを飛躍的に向上している。図3にステンレス鋼SUS304における従来品と「アクアREVOミルステンレス用」の工具溝面における切りくず接触状態の違いを示す。接触状態を分かりやすくするため、外径10mmのエンドミルに塗料を塗布し、切り込み量ap10mm(1D)の溝加工を、切削速度80m/min、送り速度410mm/min、水溶性外部給油によるウェット加工で実施した。加工後、従来品は溝の広範囲にかけて不安定に塗料が剥がれており、切りくず離れが悪く、加工面には切りくずの噛み込みによる傷が発生している。対して、「アクアREVOミルステンレス用」は塗料の剥がれ方が外周側から一定の幅のみであり、加工面には噛み込みによる傷もなく、切りくず離れの良い、安定した高品位な加工を実現している。

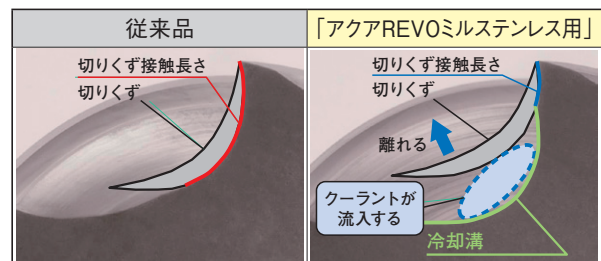
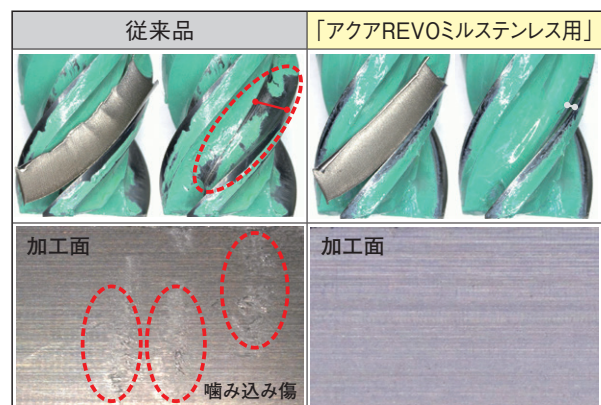


図2 溝形状



外径	: φ10	送り速度	: 410mm/min
被削材	: SUS304	切り込み量	: ap 10mm
切削方法	: 溝加工	切削油剤	: 水溶性(外部給油)
切削速度	: 80m/min	使用機械	: 立形M/C(HSK63)

図3 工具溝面の切りくず接触状態

## 2) 切削抵抗の低減

図4にステンレス鋼SUS304における従来品と「アクアREVOミルステンレス用」の切削抵抗の違いを示す。切りくずと工具すくい面との接触長さを短くしたことで、切削時の応力が小さくなり、切削抵抗を低減した。外径10mmのエンドミルで切り込み量 $a_p$ 10mm (1D) の溝加工を、切削速度80m/min、送り速度410mm/min、水溶性外部給油によるウェット加工にてX、Y、Z方向の切削抵抗の合力を測定した。従来品は切削抵抗の合力が1,680Nに対し、「アクアREVOミルステンレス用」は1,290Nと20%の低減を実現している。

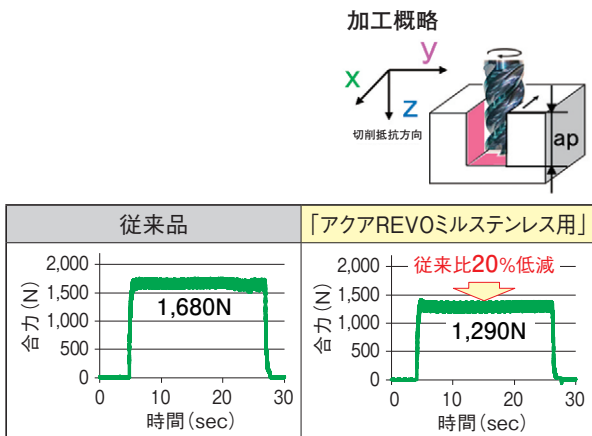


図4 切削抵抗の違い

## 3) 工具刃先への加工熱の発生を抑制

エアーフルートは、工具刃先に溜まる加工熱の抑制にも効果を発揮する。とくに溝加工では、クーラントが工具の溝内部に流入されにくく、切れ刃は高温に曝される。「アクアREVOミルステンレス用」は図2に示す冷却溝を追加し、接触長さを短くすることで摩擦を低減し、熱の発生を抑制。さらに、クーラントの流入スペースを確保し、切れ刃の冷却性能を向上し、工具刃先への加工熱の発生を抑制する。図5にステンレス鋼SUS304における従来品と「アクアREVOミルステンレス用」の冷却性能の違いを示す。外径10mmのエンドミルで切り込み量 $a_p$ 10mm(1D) の溝加工を、切削速度80m/min、送り速度410mm/min、水溶性外部給油によるウェット加工を実施した。その際、加工工作物には幅3mmのスリットを $a_p$ 10mm位置に設け、加工中および、加工後でエンドミルのコーナー部の温度を測定した。従来品は加工中の切れ刃温度が124℃、加工後は84℃を示した。対して、「アクアREVOミルステンレス用」は加工中の切れ刃温度が47℃、加工後は42℃を示し、加工熱の発生を抑制していることが分かる。

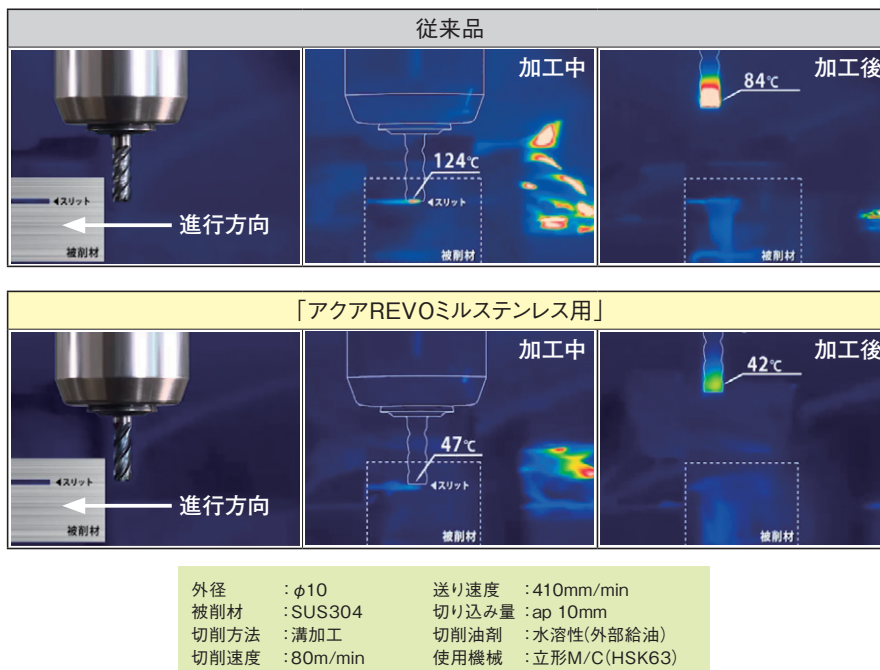


図5 冷却性能の違い

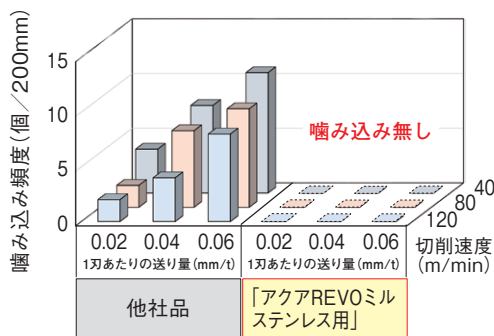
## 4. 「アクアREVOミルステンレス用」の性能

### 1) 高品位・高能率

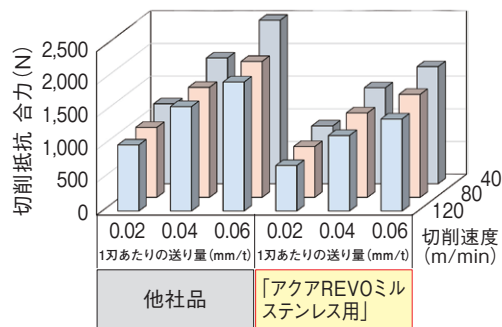
図6にステンレス鋼SUS304の溝加工における条件違いでの比較事例を紹介する。外径10mmのエンドミルで切り込み量 $a_p$ 10mm(1D)の溝加工を、切削速度40、80、120m/min、送り量0.02、0.04、0.06mm/tで振り分け、切削長200mm内における噛み込み傷の頻度および、X、Y、Z方向の切削抵抗の合力を確認した。他社品はどの切削条件下においても噛み込み傷が発生し、送り量を上げると頻度が高くなる傾向にある。対して、「アクアREVOミルステンレス用」は、切削速度や送り量を上げても噛み込み傷はなく良好であり、高品位な加工面を実現した。また、加工時の切削抵抗の合力は他社品のどの条件下に対しても20%低減している。

図7に上述のエンドミルによるステンレス鋼SUS304の側面加工における条件違いでの比較事例を紹介する。切り込み量 $a_p$ 25mm(2.5D)、 $a_e$ 0.5mm(0.05D)の側面加工を、切削速度60、100、140m/min、送り量0.04、0.06、0.08mm/tで振り分け、切削抵抗の合力および、加工面粗さを確認した。どの条件下でも、他社品に対し「アクアREVOミルステンレス用」は、切削抵抗の合力が20%低減を達成している。切削速度100m/min、送り量0.06mm/tの条件下において、他社品は加工面粗さ $Ra$ 0.46 $\mu$ mに対し、「アクアREVOミルステンレス用」は $Ra$ 0.25 $\mu$ mで高品位な加工面を実現した。

噛み込み頻度比較



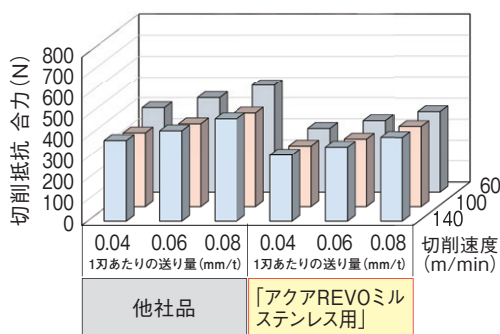
切削抵抗(合力)比較



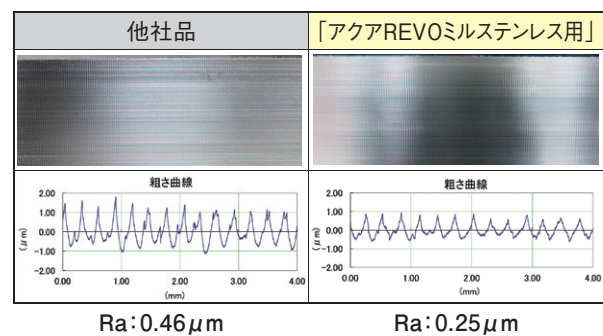
外径 :  $\phi$ 10  
被削材 : SUS304  
切削方法 : 溝加工  
切り込み量 :  $a_p$  10mm  
切削油剤 : 水溶性(外部給油)  
使用機械 : 立形M/C(HSK63)

図6 溝加工における条件違いでの噛み込み頻度、切削抵抗

切削抵抗(合力)比較



加工面粗さ  $V_c$ : 100m/min、 $f$ : 0.06mm/t



外径 :  $\phi$ 10  
被削材 : SUS304  
切削方法 : 側面加工  
切り込み量 :  $a_p$  25mm、 $a_e$  0.5mm  
切削油剤 : 水溶性(外部給油)  
使用機械 : 立形M/C(HSK63)

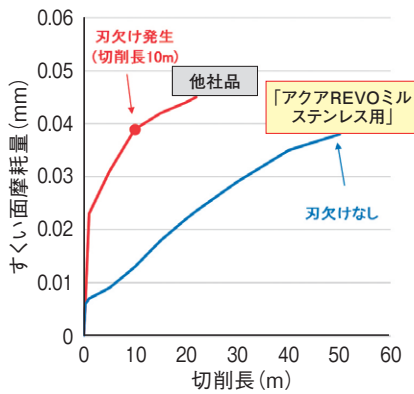
図7 側面加工における条件違いでの切削抵抗および、加工面粗さ



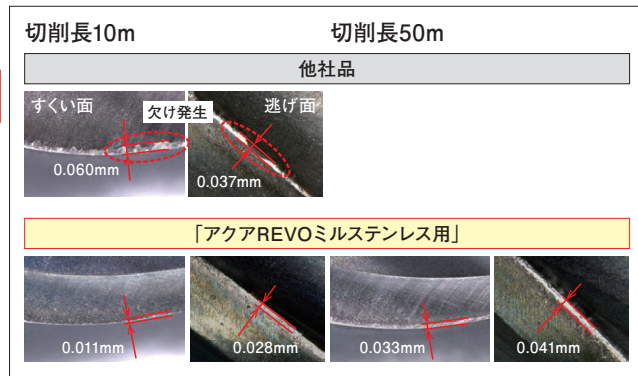
## 2) 長寿命

図8にステンレス鋼SUS304の小径エンドミルによる溝加工事例を紹介する。小径エンドミルは工具溝が狭く、切りくず噛み込みによる刃欠けや、切りくず詰まりによる折損が発生しやすい。外径3mmのエンドミルでap3mm(1D)の溝加工を切削速度100m/min、送り速度420mm/min、水溶性外部給油によるウェット加工で実施した。切りくず排出性の悪さから他社品は切削長10mで刃欠けが発生し、切削長22mで折損した。対して、「アクアREVOミルステンレス用」は切削長50mまで加工を行っても刃欠けがなく、高能率、安定加工を実現した。

図9にステンレス鋼SUS430の溝加工における摩耗量比較事例を紹介する。外径10mmのエンドミルで切り込み量10mm(1D)の溝加工を、切削速度70m/min、送り速度500mm/min、水溶性外部給油によるウェット加工で実施した。他社品は切削長5mで欠けが発生しており、加工面には噛み込み傷が見られる。対して、「アクアREVOミルステンレス用」は切削長10mまで加工を行っても欠けがなく、加工面に噛み込み傷のない安定加工を実現している。すくい面摩耗量は切削長5m時点で他社品に対し1/2を実現している。

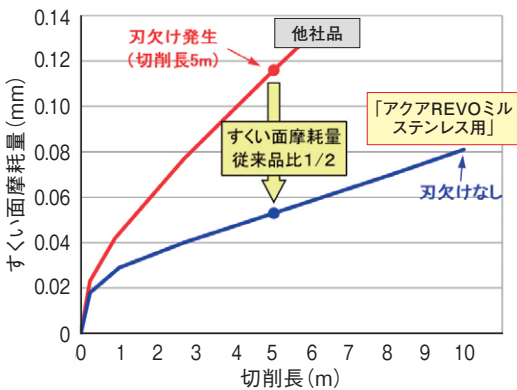


### 切れ刃損傷比較



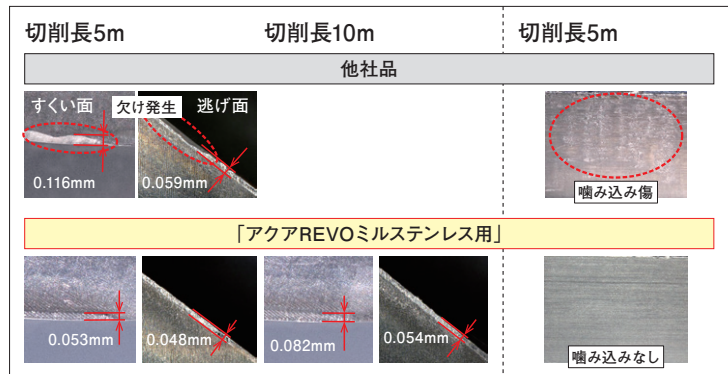
外径 : φ3      送り速度 : 420mm/min  
 被削材 : SUS304      切り込み量 : ap 3mm  
 切削方法 : 溝加工      切削油剤 : 水溶性(外部給油)  
 切削速度 : 100m/min      使用機械 : 立形M/C(HSK63)

図8 SUS304溝加工(φ3)



### 切れ刃損傷比較

### 加工面比較



外径 : φ10      送り速度 : 500mm/min  
 被削材 : SUS430      切り込み量 : ap 10mm  
 切削方法 : 溝加工      切削油剤 : 水溶性(外部給油)  
 切削速度 : 70m/min      使用機械 : 立形M/C(HSK63)

図9 SUS430溝加工の外周刃摩耗比較

### 3) 多用途

「アクアREVOミルステンレス用」はステンレス鋼のみならず、炭素鋼から耐熱合金などの難削材まで、幅広く加工が可能である。

図10に炭素鋼S50C(180HB) の溝加工における摩耗量比較事例を紹介する。外径10mmのエンドミルで切り込み量ap10mm(1D) の溝加工を、切削速度100m/min、送り速度970mm/min、水溶性外部給油によるウェット加工で実施した。切削長30m時点で、他社品は外周刃のすくい面摩耗が進行し、黒みがかかった切りくずが発生しているが、「アクアREVOミルステンレス用」は摩耗進行が抑制され、他社品に対し摩耗量は1/2であり、切りくずも焼けが見られず良好である。

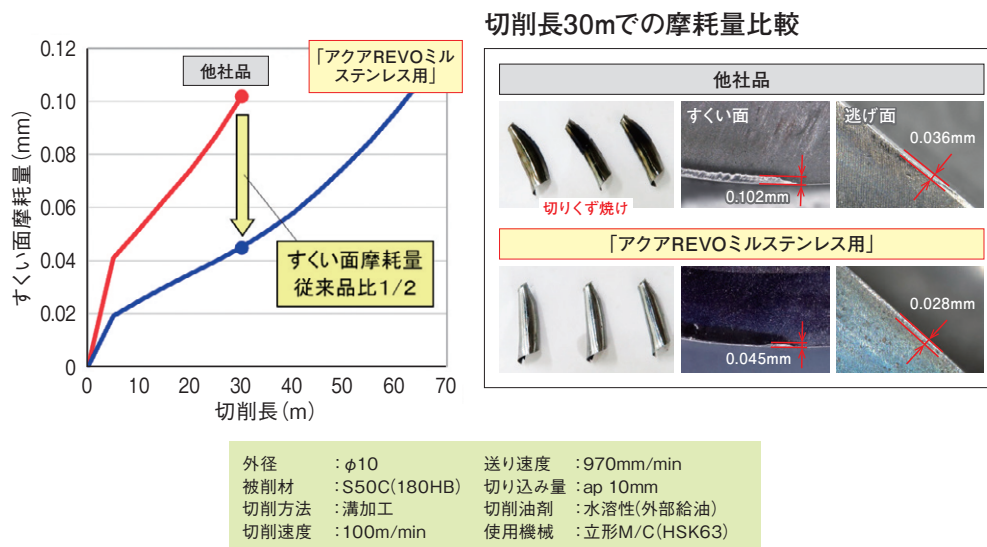


図10 S50C溝加工の外周刃摩耗比較

## 5. まとめ

「アクアREVOミルステンレス用」は、加工面のびびりや切りくずの再切削による噛み込み傷、切りくずが工具の溝に詰まることによる工具折損など、難削材ステンレス加工の問題点を新開発の溝形状エアーフルートにより解決し、高品位で高能率かつ長寿命を実現している。また、ステンレス鋼のみならず、幅広い被削材においても「アクアREVOミルステンレス用」は高いパフォーマンスを発揮する。

社会の動向により刻々と加工環境が変わる中、アクアREVOシリーズはユーザーニーズに応え続ける。