

難加工材高度切削技術に関する試験研究

早乙女 秀丸* 行武 栄太郎* 磯山 亮* 上田 聖* 石川 裕理* 齋藤 和哉*

1. はじめに

機械加工業界は海外との厳しいコスト競争にさらされており、従来の単純加工部品から高付加価値部品への対応が生き残りのカギとなっている。この高付加価値部品の多くは医療産業や航空機産業の部品であり、材質はチタン等の難加工材が多用されている。

本研究では、今後成長が見込まれる医療関連部品産業を念頭におき、部品からの感染症や汚染を防ぐ、切削油を使用しない切削技術の開発を行った。

2. 目的

本研究では切削油を使用しない切削加工を実現するために、クーラントに強アルカリ水を使用した加工技術の開発を行った。

強アルカリイオン水とは、pH12以上の電解水であり、主に部品の洗浄に使用されている水のことである。酸化還元電位(ORP)が非常に低いことからさびの発生が少ないとされている。また、表1に示すような特徴があり、切削油の代替品としての期待が高まっている水である。しかし、切削加工に使用するためには、潤滑性や冷却性等について不明な点があり、加工条件や最適工具条件を研究する必要がある。

本年度は、クーラントに強アルカリイオン水を使用したウェット加工について実験を行い、従来の切削油を使用した加工及び何も使用しないドライ加工との比較を行ったので、その報告をする。

表1 強アルカリ水の特徴

	強アルカリ水	従来の切削油
潤滑性・冷却性	△未知	○高い
洗浄	○極めて容易	×必須
切屑リサイクル	○極めて容易	×洗浄が必要
廃油処理	○容易	×処理が必要

3. 研究内容

3.1 被削材について

被削材には、φ60mmの純チタンTB340H(熱間圧延、ピーリング仕上げ)を用いた。被削材の機械的特性を表2に、表面から中心に向けての硬さ分布を図1に示す。

また、図2はX線CTによる材料欠陥検査の結果であり、被削材は欠陥の無い材料であることを確認している。

表2 機械的特性

0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)
310	418	33

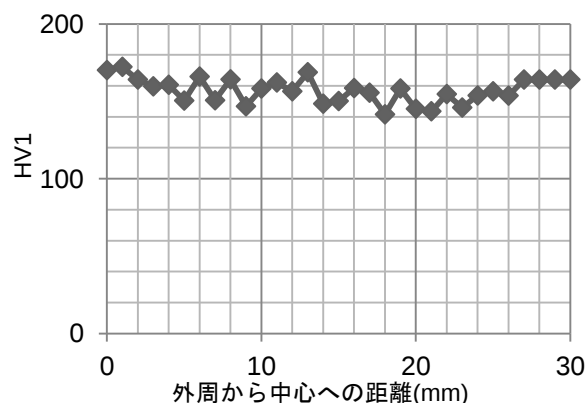


図1 被削材の硬さ分布

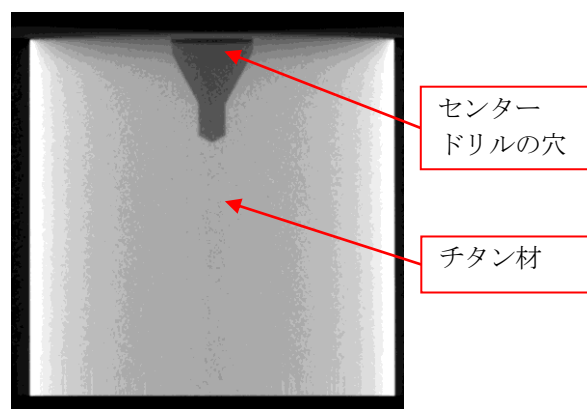


図2 被削材の透過像

3.2 強アルカリ水について

切削液については、pH12.5の山田マシンツール製強アルカリイオン水を使用した。この水は、電解槽を陽イオン交換膜で区切り、+極側に電解質水溶液を循環し電圧をかけ一極側の純水へ陽イオンを移動させ、pH値を上げる方式を取っている。

3.3 使用工具について

工具については、日本製でチタン加工に推奨されているチップを使用した。コーティング膜厚は、集束イオンビーム加工観察装置(FIB)を用いて測定した。

表3 チップの仕様

形状	コーティング (μm)	刃先半径 (μm)	硬さ HV0.5
CNMG120408	2	16	1930
推奨切込 (mm)	推奨切削速度 (m/min)	推奨送り (mm/rev)	
0.5~4	40~70	0.1~0.25	

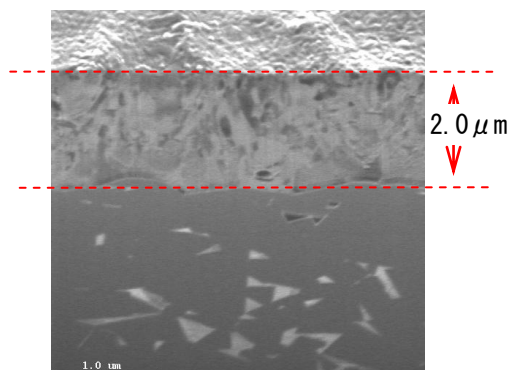


図3 FIBによるコーティング膜厚の測定結果

3.4 CAEについて

切削試験の切削条件を決めるにあたり，米国THIRD WAVE SYSTEMS社が開発した金属切削用有限要素法プログラムAdvantEdgeFEMを使用した。このCAEは切削加工に特化したソフトウェアであり，旋削やミーリング，ドリル加工などが解析でき，2次元または3次元で結果を表示することができる。解析条件は図4に示す設定画面において行い，工具及び被削材の形状や材料特性，加工条件，クーラント条件等について入力を行う。また，解析モデルの要素分割や境界条件については，条件に合わせてソフトウェアが自動的に行う仕様となっている。

本事業ではこのCAEを使用し，切屑の形状，切削温度の2点について解析を行い，加工条件の違いによる比較を行った。

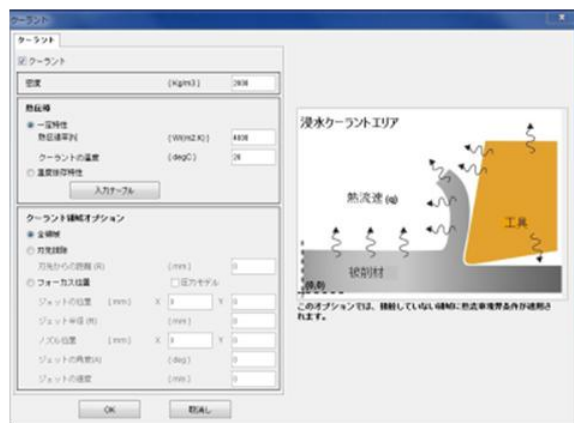
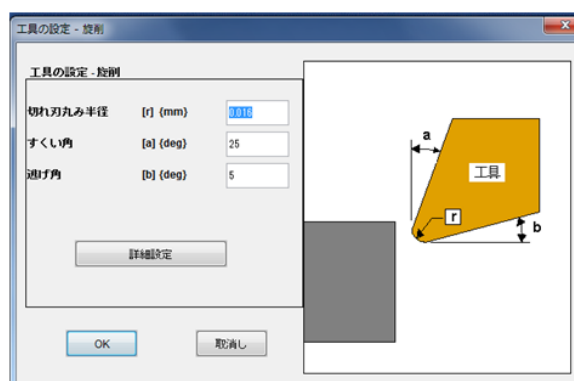


図4 設定画面（上：工具，下：クーラント）

3.5 切削試験について

切削試験には，滝澤鉄工所製TCN-2000L6Yを使用した。本機器は様々な切削液に対応できるように，クーラントの塗装をエポキシ系に変更し，スライドカバー等へ防錆対策を施している。

切削試験の条件は，目標の算術平均粗さRaが約 $1.0\mu\text{m}$ となるように，切込量 0.5mm ，周速 50m/min ，送り 0.16mm/min に設定した。また，工具寿命を評価するため，一工具あたりの使用時間を $5\cdot 10\cdot 20\cdot 40$ 分に設定し，実験を行った。



図5 旋盤

3.6 工具及び被削材の評価について

工具については，実体顕微鏡を用いて逃げ面の摩耗及び溶着を50倍で観察し，寿命について評価した。

被削材については，表面粗さ輪郭形状測定機でRaとRSm（粗さ曲線要素の平均長さ）を，真円度測定器で円筒度を測定し評価を行った。なお，表面粗さはカットオフ値 0.8mm 評価距離 4mm で，円筒度は評価距離 9mm 平面数4面で評価を行った。



図6 表面粗さ輪郭形状測定機
(アメテック製フォームタリサーフ PGI 1240)



図7 真円度測定器
(アメテック製タリロンド 585)

4. 研究結果と考察

4.1 シミュレーションと切削試験の比較

ドライ加工とウェット加工における、切屑の形状と温度に関するシミュレーション結果を図8～図11に、切削試験で出た切屑を図12に示す。

切屑形状については、ドライ加工及びウェット加工ともに、シミュレーションと切削試験の結果に大きな差は見られず、どちらも螺旋型に長くつながる形状となった。このように切屑が長くつながったのは、送りが遅い又は切込量が少ない等の可能性が考えられる。

一方被削材の温度については、シミュレーションの結果ではドライ加工とウェット加工に差が見られなかった。しかし、切削試験では差が見られ、ドライ加工ではシミュレーション値とほぼ同等の60℃であったのに対し、ウェット加工は加工前とほぼ変わらない温度であった。このような差が発生したのは、シミュレーションのクーラントに関する設定の熱伝達率に問題があったと思われる。ウェット加工のシミュレーションでは切削液を流れる水と想定し、熱伝達率を4000W/(m²K)に設定した。しかし、実際は想定よりも切削液の流速等が早くより熱が逃げやすい状態になっており、熱伝達率に大きな差が発生し、結果として被削材の温度に差が生じたと思われる。

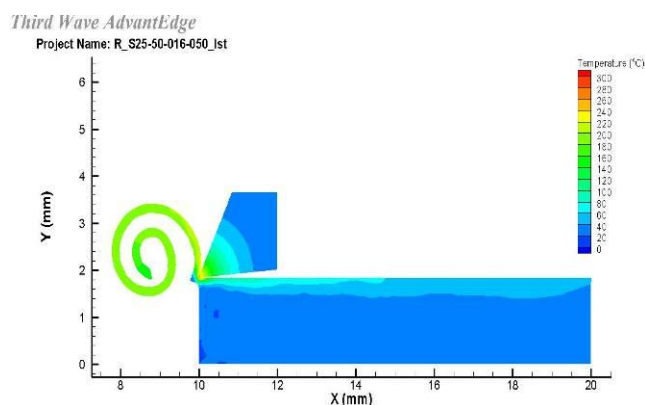


図8 ドライ加工シミュレーション結果

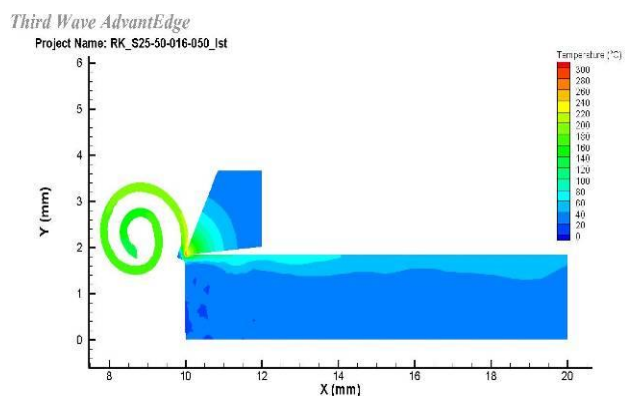


図9 ウェット加工シミュレーション結果

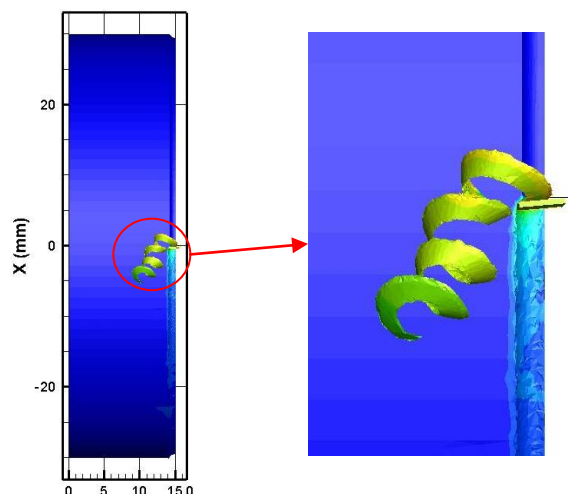


図10 3次元のドライ加工シミュレーション結果

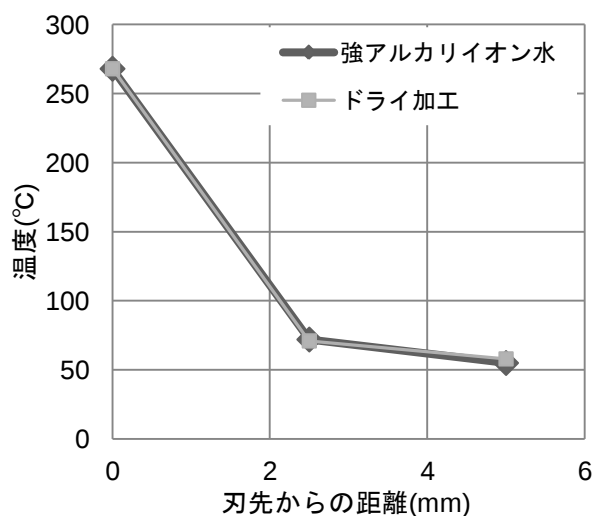


図11 被削材の温度（シミュレーション）



図12 強アルカリイオン水で加工した時の切屑

4.2 工具と被削材評価

図13～図15に工具使用時間の違いによる、チップの損傷状況について示す。今回の切削条件では、どの冷却方法においても20分までは溶着が進み、それ以降は溶着が減る傾向であった。

図16～図18に被削材の計測結果を示す。強アルカリイオン水で加工したサンプルは、目標値のRa1.0μm以下、真直度10μm以下に収まっており、またRSmも送りとほぼ同じ0.16mmになっており、良好な仕上がりであった。

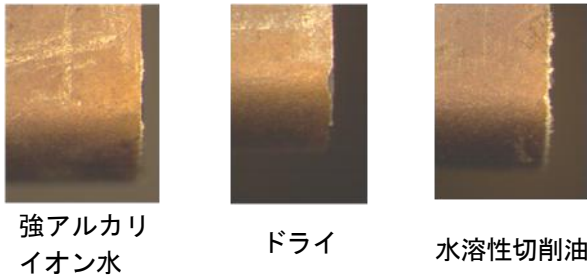


図13 5分使用したチップ

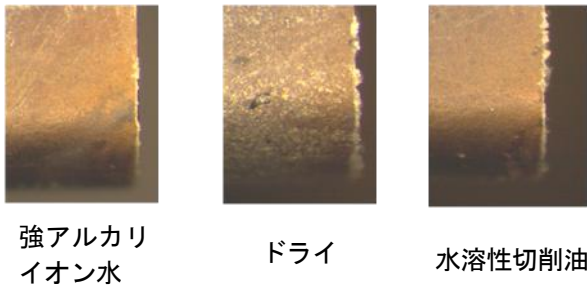


図14 20分使用したチップ

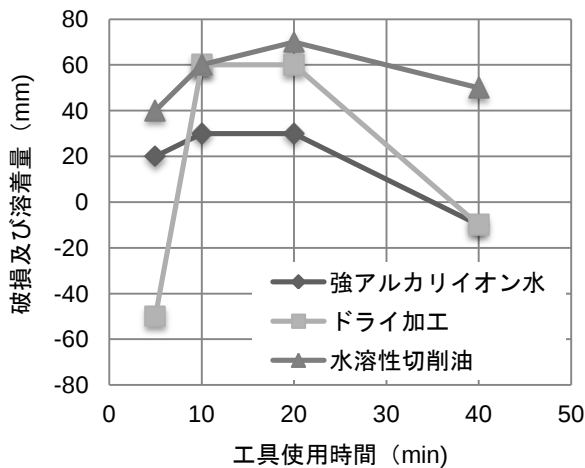


図15 摩耗量グラフ

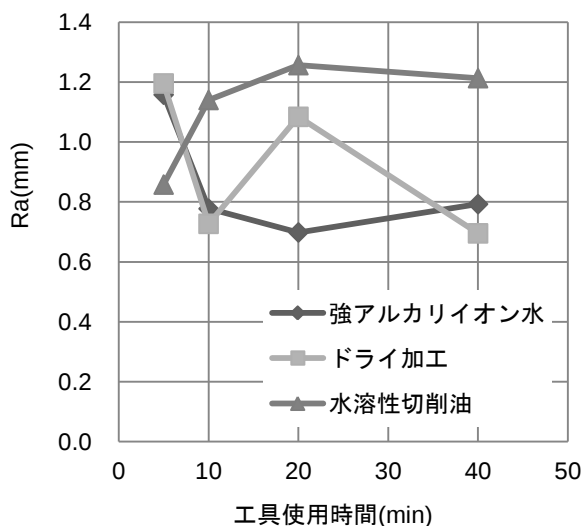


図16 工具使用時間と算術平均粗さ Ra

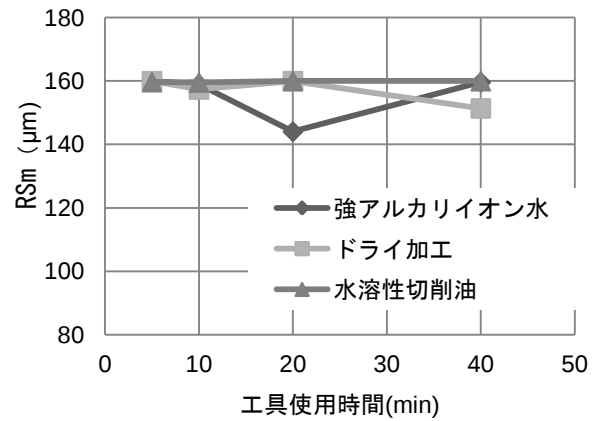


図17 工具使用時間と粗さ曲線の平均長さRSm

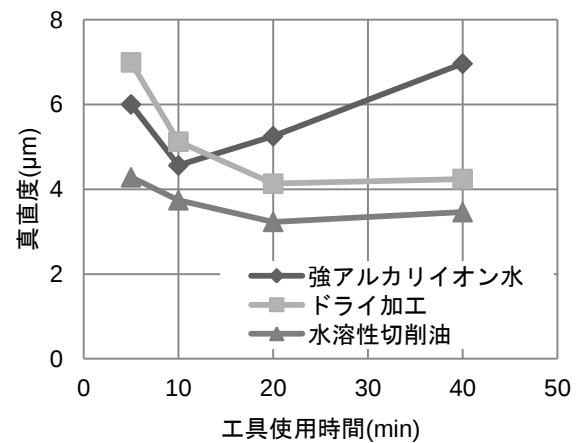


図18 真直度

5. まとめ

- (1) ドライ加工とウェット加工のシミュレーションを実施した。それぞれの切屑形状については解析結果と切削試験の結果が一致した。しかし、被削材の温度については差異が見られ、ウェット加工では被削材の温度が一致しなかった。
- (2) 0.5mmと切込量が浅い条件では、強アルカリイオン水は水溶性切削油とほぼ同等程度に加工ができることが確認できた。しかし、加工データが少なく工具摩耗と表面精度の関連性を明らかにするまでには至らなかった。

6. 今後の課題

シミュレーションについては、切削液のデータが正しく反映できるように実際の加工データから適正な熱伝達率を探ることが課題となった。

また、強アルカリイオン水による加工全体では、工具摩耗と表面精度の関連性を明らかにする必要がある、さらなる加工データの蓄積が課題となった。

これらの課題については引き続きH26年度で検討及び実験を進めていき、解決を図りたいと思う。