

木質系部材の加工面の評価技術 (第1報)

長田 孝・工藤 正志

Estimation Mechanics of Worked Surface for Woody Parts (1st report)

Takashi OSADA and Masashi KUDO

要 約

従来、木質系部材の切削加工は、経験によるところが多いとされている。そこで、NCルータ加工における適正な切削条件の選定について、工具摩耗や被加工面の表面粗さなどの観点から検討した。

その結果、木材の比重が大きくなるほど工具摩耗は増大するが、被加工面は良好となる傾向を示し、針葉樹（ヒバ）は、広葉樹に比べ被削性の悪さが確認された。

また、切削送り速度が大きくなるほど、表面粗さが大きくなる傾向を示し、ビット径6mm、主軸回転数10000rpm（ビット周速度188m/min）の条件下では、切削送り速度1000~2000mm/minが適正範囲と認められた。

1. 緒 言

木質系部材のNCルータ加工では、被削性（切削面の性状、加工精度など）の良否を表面粗さ及び加工寸法の精密測定等の工学的数値のみによって判断し適正加工条件を決定することは、木材の持つ性状（組織の不均一性など）のため困難であり、現在でも、熟練作業者の経験により加工が行われている状況にある。

本研究では、比較的小径のルータビットを用い、被削性の評価に関する工学的な基準を確立し、適正加工条件を決定する上で基礎データとなる、切削送り速度・切削温度（ビット刃先近傍）・刃先摩耗と加工面粗さとの関係について調べた。

なお、加工材については、従来から家具材に適するとされる広葉樹に加え、今後、需要が増加すると思われる低質材（針葉樹）についても検討を加えることにした。

2. 実 験

2-1 試験機、供試ビット及び供試材

本試験機は、庄田鉄工(株)製の5軸同時制御NCルータ(NC-1U)で、その主な仕様は、主軸回転数3000~18000rpm、最大送り速度15000mm/min、最小指令単位0.01mmである。また、制御装置は、FANUC15-MAを用いている。本実験では、主軸回転数を10000rpm、送り速度を500、1000、2000、3000mm/minの4種に設定し、切り込み深さ2mmで供試材の切削加工を行った。ここで、送り速度は、予備実験の結果と試験片サイズとを勘案し選択した。

供試ビットは、超硬ビットと高速度鋼ビットの2種類で、何れも直径6mm、すくい角20度の2枚刃（ストレートエン

ド）とした。

供試材は、広葉樹材としてカツラ (*Cercidiphyllum Japonicum* SIEBOLD et ZUCCARINI)、シオジ (*Fraxinus commemoralis* KOIDZUMI)、カバ (*Betula Maximowicziana* REGEL)、針葉樹材としてヒバ (*Thujaopsis dolabrata* SIEBOLD et ZUCCARINI var. *Hondai MAKINO*) の4種類を用いた。

各材の気乾比重および含水率を、表1に示す。

なお、供試材より切り出す試験片の寸法は、120×120×12(mm)とし、板目面の切削加工を行うこととした。

表1 供試材の気乾比重と含水率

樹種名	気乾比重	含水率
カツラ	0.51	9.1
シオジ	0.60	11.0
カバ	0.74	9.9
ヒバ	0.45	7.5

2-2 測定方法

前記の4種類の供試材より作成した試験片に対し、超硬ビット・高速度鋼ビットの両者を用いて、主軸回転数を10000rpmに設定し、4種類の切削送り速度（500、1000、2000、3000mm/min）で試験片の板目面を直線加工するプログラムにもとづき切削加工を行った。

(1) ビット先端近傍温度の測定

赤外線放射温度計によりNCルータ切削加工時におけるビット先端近傍温度の測定を行った。この時、測

定温度範囲は、15~84℃に、放射率 $\epsilon=0.85$ 、設定温度SN=0.27と一定にした。

(2) 工具摩耗の測定

試験片5枚を加工するごとに工具顕微鏡によりルータビットのすくい面・逃げ面の摩耗状態を観察し、すくい面の工具摩耗幅の測定および写真の撮影を行った。

(3) 加工表面粗さの測定

前記の切削条件により加工を行った試験片板目面の表面粗さを触針式表面粗さ計により測定した。この時の表面粗さの値は、中心線平均粗さRa (JIS B 0601)により表示することとした。

3. 試験結果と考察

3-1 ビット先端近傍温度の測定

木材切削では、工具が高速で運動することが多いこと、顕著な温度上昇を示すのは刃先の微小領域であること、木材は電気的な絶縁体であることから、金属切削で工具と切り屑との接触面の温度測定で、一般的に用いられる工具-被削材熱伝対法を採用できないことから刃先温度の測定は一般に困難である。そこで、対象物からの熱放射を利用する赤外線放射温度計を用いることによって、温度場を乱さずに工具の温度を非接触で測定できる。特に、微小面の温度測定に赤外線放射顕微鏡（観測ポイント直径0.035mm）を用いると、正確で高応答の測定が可能となる。

本実験では、切削時に発生する熱が工具摩耗に及ぼす影響を加工する樹種ごとに比較検討するにあたり、赤外線放射温度計の観測ポイントが、およそ 4.5mm と比較的大きいことから、NCルータ切削加工時のビット先端近傍の温度を測定した。

図1は、超硬ビットにより板目面を切削加工した試験片の加工枚数と、その時にビット先端近傍で生じた最高温度との関係を示したものである。

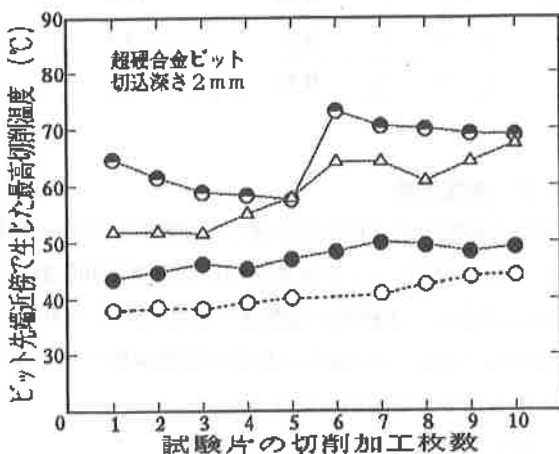


図1 板目面加工時における試験片加工枚数と切削温度との関係

広葉樹では、比重（板目面硬さ）の大きい供試材ほど刃先近傍の温度は上昇する傾向にある。しかし、ヒバ（針葉樹）とカツラ（広葉樹）の比重は、ほぼ等しいにも関わらず、刃先近傍温度は、ヒバの方が20%以上高温となっている。

木材の熱伝導率は、比重と含水率に依存し、比重が小さいほど熱伝導率は小さく、含水率が1%増加すると熱伝導率は約1.3%増加する⁹⁾。本実験の供試材であるカツラとヒバでは、比重は、ほぼ等しいものの、カツラの含水率がヒバより1.6%程大きく、その結果として熱伝導率はカツラの方が2%程度大きくなる。

したがって、熱伝導率の小さいヒバを切削加工した場合には、カツラに比べ熱は発散しにくく、切削温度は若干高くなるものの、切削温度上昇の主要因は、ヒバの木理が概ね通直で組織も密であり、粘り強さがあるため、ビットとの摩擦がカツラと比べて大きいことに起因しているものと推察できる。

木材切削では、金属切削に比べ主軸回転数および切削送り速度が非常に大きいため、すくい面での摩擦による発熱が切削加工時の工具温度の上昇に非常に大きなウェイトを占めるとされている⁹⁾。

図2は、高速度鋼ビットにより板目面を切削加工した試験片の加工枚数と、その時にビット先端近傍で生じた最高温度との関係を示したものである。

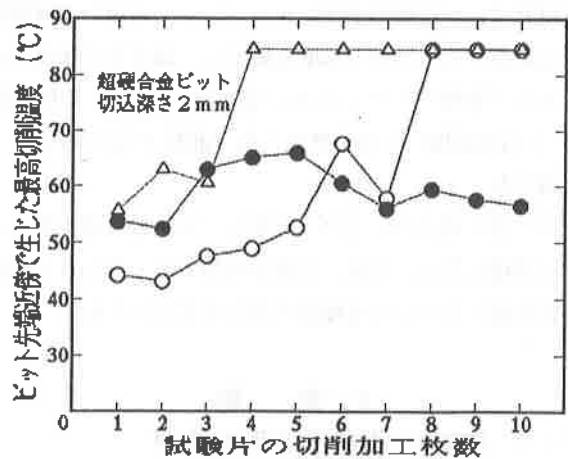


図2 板目面加工時における試験片加工枚数と切削温度との関係

切削加工の初期においては、超硬ビットによる切削と同様な傾向を示しているが、切削加工枚数（切削時間）が増すと、ビットと被削材との摩擦による発熱が工具刃先温度の上昇に影響を及ぼす割合が超硬ビットより大きくなること、また、高速度鋼ビットの熱伝導率が超硬ビットより小さいため、熱の発散が少ないことによるものと考えられ、軟らかく粘り強い材質のものほど、この影響は大きく現れ

ている。

切削温度が高い状態での加工は、工具摩耗の促進につながると考えられるが、切削温度の上昇は、被削材の硬さの大小に影響を受けるものの、軟らかい材質の樹種でも、粘り強さを持つ材では、加工が進むにつれて切削温度は上昇し工具摩耗が促進されるものと推察できる。

3-2 工具摩耗の測定

図3に切削加工時間とルータビットすくい面の摩耗量(摩耗幅)との関係を示す。

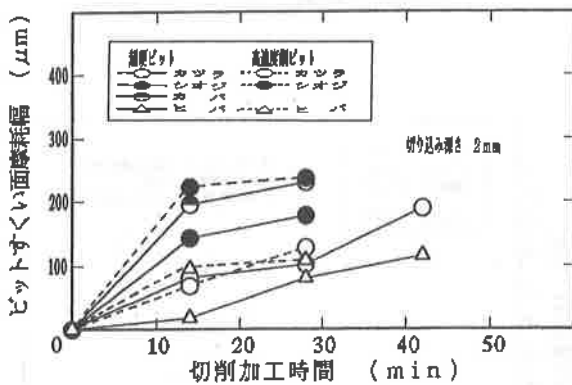


図3 加工時間とすくい面摩耗量との関係

工具材質の違いが、すくい面摩耗量に及ぼす影響に関しては、各供試材とも金属の切削加工の場合と同様に、超硬ビットが高速度鋼ビットより耐摩耗性に優れていた。特にシオジでは、この傾向が顕著であった。

また、超硬ビット、高速度鋼ビットともに被削材の比重が大きくなるとビットの摩耗量は増加する傾向にある。カツラとヒバの比重は、同程度であり、高速度鋼ビットを用いて切削した時の摩耗量は、ほぼ同様な量および傾向を示しているのに対し、超硬ビットによる切削加工において、切削温度はカツラよりヒバの方が高温となっているもののヒバを加工した際の工具摩耗量は、カツラを加工したときの工具摩耗量より少なくなっており、高速度鋼ビットに比べ高温での耐摩耗性に優れている点もうかがえる。

3-3 加工表面粗さの測定

図4(a), (b)および(c)は、超硬ビットを用い、また、図5(a), (b)および(c)は、高速度鋼ビットを用い、主軸回転数1000rpm, 切り込み深さ2mmの設定で、切削送り速度を500, 1000, 2000, 3000mm/minの4段階に変化させたときの表面粗さへの影響を表している。表面粗さの値は、平均値をプロットし、上限と下限の値を付加したものである。

超硬ビットによる切削加工では、材の比重が小さいものほど表面粗さの値は、大きくなる傾向にある。また、切削

送り速度が、500~1000mm/minにかけて表面粗さの値は増加し、1000~2000mm/minの間でほぼ横ばいに推移し、2000~3000mm/minの間で再び増加に転じる傾向にある。

高速度鋼ビットによる切削加工でも同様の傾向にあるが、2000~3000mm/minの間で表面粗さの値が急激に増加し加工面は著しく悪くなる。

一方、図6(a), (b)および(c)は、超硬ビットを用い、また、図7(a), (b)および(c)は、高速度鋼ビットを用いて加工を行ったときの木目に対する切削方向(順目方向・逆目方向)の違いが表面粗さに及ぼす影響を検討するため、各供試材ごとに表面粗さの平均値のみを切削送り速度に対してプロットしたものである。

各供試材とも使用ビットの材質に関わらず、順目方向切削に比べ、逆目方向切削となったときの表面粗さの値は大きくなり切削送り速度が大きくなるにつれて、また、材の比重の小さいものほど、この傾向は、いっそう顕著になる。

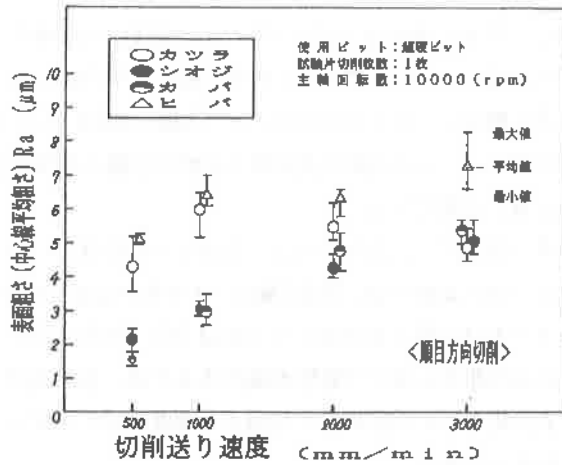
4. 結言

超硬ビット、高速度鋼ビットとも加工時間の増加とともに、すくい面摩耗は増加していく傾向にある。また、被削材の比重が大きくなるほど、工具摩耗は増大するものの、工具摩耗量が少ない内は、被削材の加工面は良好となる傾向を示し、本実験の加工時間内では、ビットの摩耗量増加による加工面粗さへの影響は認められなかった。

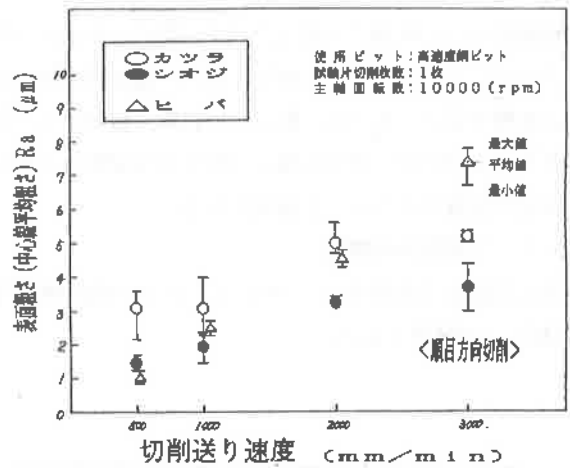
また、切削送り速度の大小が加工面粗さに及ぼす影響に関しては、主軸回転数1000rpm(ビット周速度188m/min)時において、切削送り速度を1000~2000mm/minで設定すれば、切削方向は、あまり考慮しなくとも、ある程度良好な被加工面が得られることが確認された。

参考文献

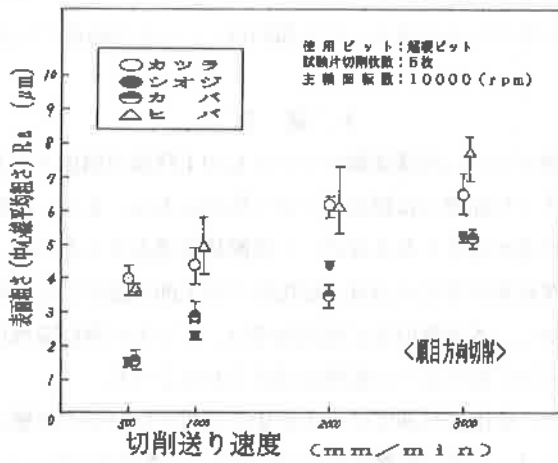
- 1) 荒志武朗: NCルータによる小径ビット切削において刃先摩耗が被削性に及ぼす影響, 日本木材学会誌 vol.39, No.4
- 2) 日本木材学会編: 木材の加工, 文永堂出版, 1991
- 3) 日本材料学会木質材料部門委員会編: 木材工学事典, 工業出版, 1982
- 4) 改訂3版木材工業ハンドブック編集委員会編: 改訂3版木材工業ハンドブック, 丸善, 1987
- 5) 産業調査会編: 木材活用事典, 産業調査会, 1994
- 6) 田中千秋, 喜多山繁: 木材科学講座6 切削加工, 海青社, 1992
- 7) 木材工業編集委員会編: 日本の木材, 日本木材加工協会, 1966
- 8) 日本木材学会編: もくざいと科学, 海青社, 1989



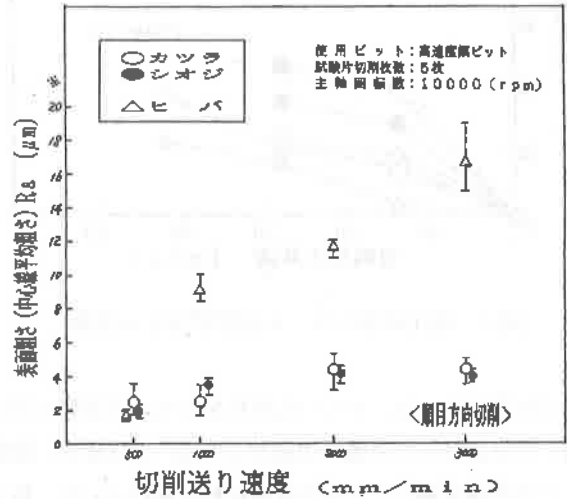
(a)



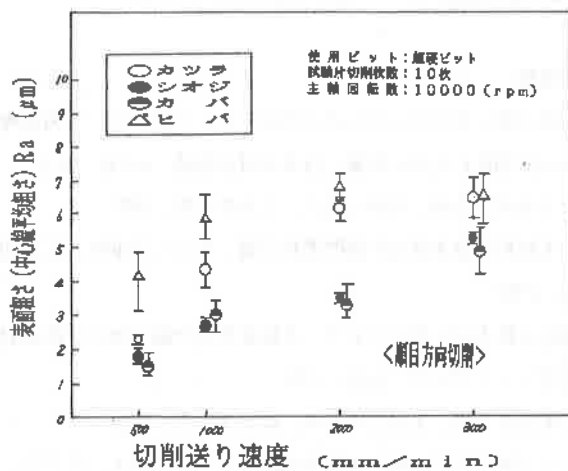
(a)



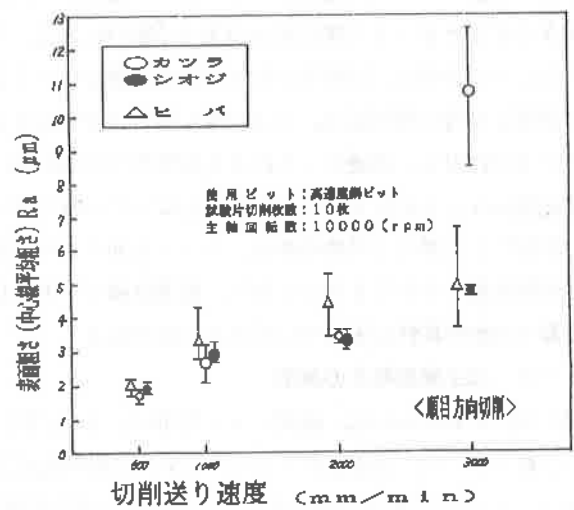
(b)



(b)



(c)



(c)

図4 (a)~(c)

切削送り速度と表面粗さとの関係

<超硬ビット>

図5 (a)~(c)

切削送り速度と表面粗さとの関係

<高速度鋼ビット>

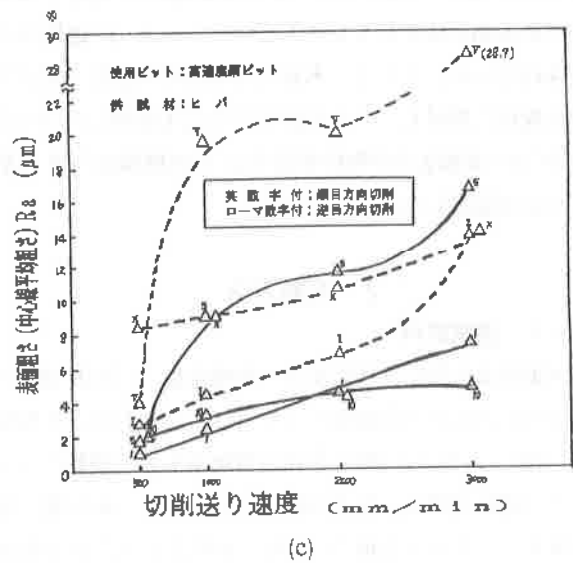
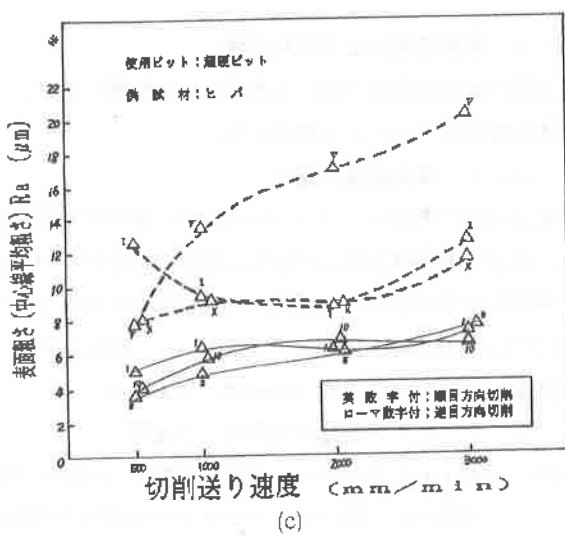
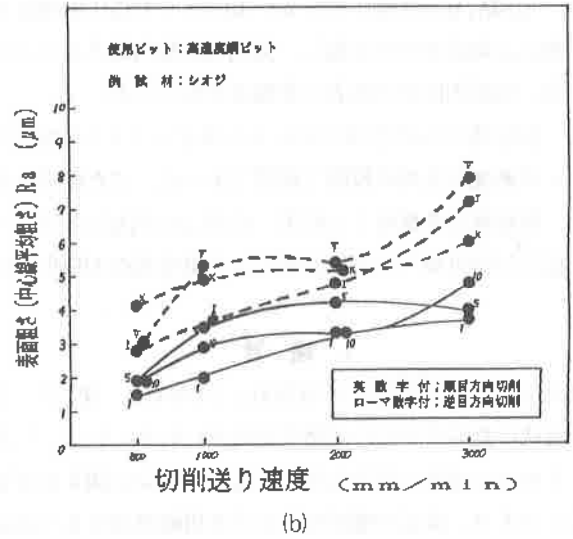
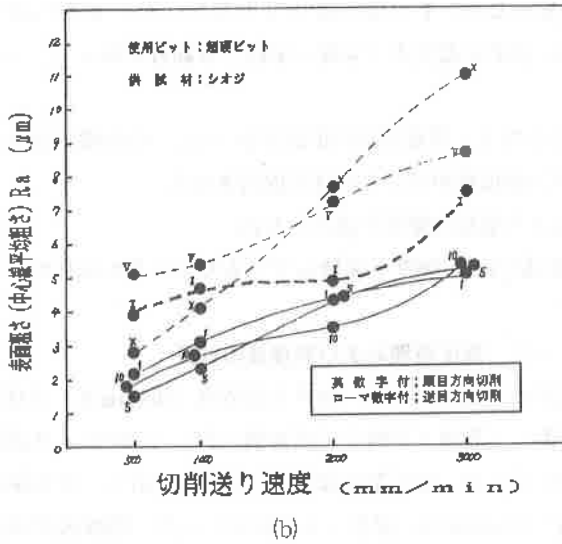
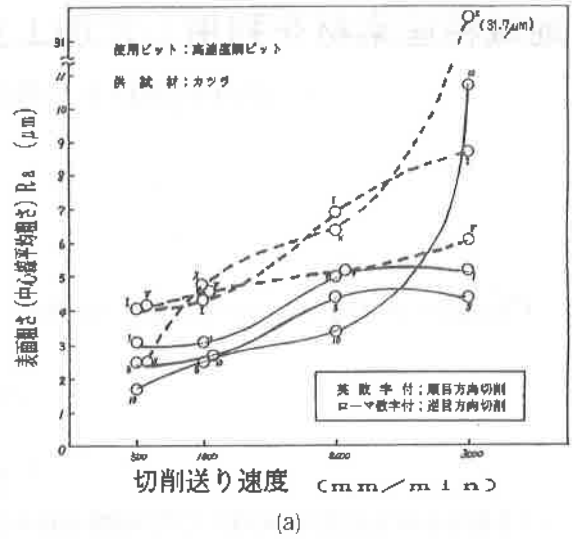
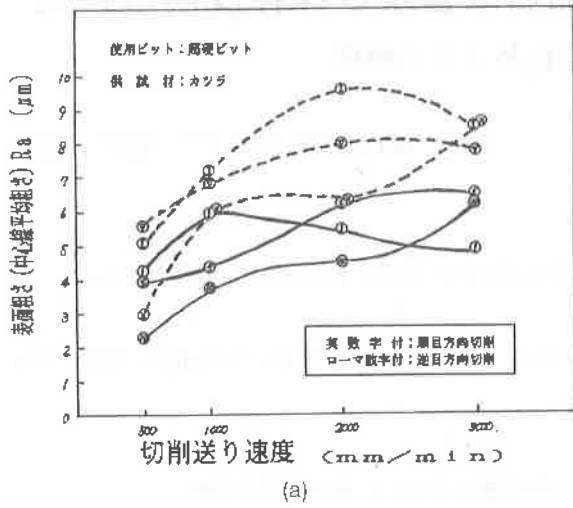


図6 (a)~(c)

切削送り速度と表面粗さとの関係
に及ぼす切削方向の影響
〈超硬ビット〉

図7 (a)~(c)

切削送り速度と表面粗さとの関係
に及ぼす切削方向の影響
〈高速度鋼ビット〉