

木質系部材の加工面の評価技術 (第2報)

—NCルータにおける加工条件が被加工面に及ぼす影響—

長田 孝・工藤 正志

Estimation Mechanics of Worked Surface for Woody Parts (2nd report)

—Effects of cutting conditions on worked surface by a NC Router—

Takashi Osada and Masashi Kudo

要 約

NCルータにおける適正な加工条件を工学的に選定するため、各種加工条件について、主軸回転数および加工時間の条件範囲を広げる中で、昨年度に引き続き検討を行った。

その結果、直径6mmのルータビットによるカツラ、シオジ、ヒバの切削加工において収集、蓄積したデータについて数値的な基準をもとに評価したことによって、被加工面の表面粗さ、工具摩耗量、主軸回転数および切削送り速度の相関関係が把握できた。これにより、各材料における適正な切削条件を選定するための基本指針が得られた。

1. 緒 言

木材は、組織構造的には不整であり、また、材質的には不均一な材料であるため、切削面の欠点の発生も不規則になり、加工面全体についての総合的な観点から加工面の性状を厳密に数値化し評価を行うことは困難を伴う。したがって、今日でも、肉眼的な判断に頼らざるを得ない状況にある。

前報¹⁾では、主軸回転数一定(10000rpm)で送り速度を変化させて加工を行った際に発生する切削熱が、工具摩耗に及ぼす影響及び工具摩耗が被加工面に及ぼす影響を中心に検討した。

本報では、前報と同様のルータビット(小径)を用い、被削性の評価に関する工学的な基準を設定し、適正な加工条件を選定するため、加工時間と刃先摩耗との関係及び切削送り速度と加工面粗さとの関係を3つの主軸回転数について検討した。

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. 実験方法

2-1 試験機、供試ビット及び試験片

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。

供試ビットは、木材加工用として一般的に市販されている直径6mm、すくい角20度、逃げ角30度の超硬ビット(K-20)で、2枚刃のストレートエンドを用いた。また、比較対象として、同形の高速度鋼ビット(SKH9)を用いた。加工材は、広葉樹材としてカツラ、シオジ、カバ、針葉樹材としてヒバの4種類を用いた。

加工材の気乾比重、含水率及び平均年輪幅を表1に示す。

表1 加工材の気乾比重、含水率と平均年輪幅

樹種名	気乾比重	含水率(%)	平均年輪幅(mm)
カツラ	0.51	9.1	2.7
シオジ	0.60	11.0	2.9
カバ	0.74	9.9	1.7
ヒバ	0.45	7.5	1.8

なお、加工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。

2-2 測定方法

本実験では、NCルータの設定主軸回転数を5000、10000、15000rpm(切削速度で表すと、94、188、283m/minに対応する)の3種類とし、それぞれについて送り速度を500、1000、2000、3000mm/minの4種に設定し、切り込み深さ2mmで試験片の板目面を直線加工するプログラムにより切削

加工を行った。

ただし、本実験において繊維傾斜角は、約30~50度（順目方向切削時）、約130~150度（逆目方向切削時）の範囲であり、木理斜交角は約20~45度の範囲とした。

(1) 工具摩耗の測定

試験片5枚を加工する（加工時間にすると約14分）ごとに、工具顕微鏡（拡大率；100倍）によりルータビットのすくい面の摩耗状態を観察し、すくい面摩耗幅の測定を行った。

(2) 加工面の表面粗さの測定

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、(株)小坂研究所製S E-3F型の触針式表面粗さ計により測定した。この時、触針先端の曲率半径は $5\mu\text{m}$ 、測定長さは、切削方向と平行に2.5mmとした。また、表面粗さの値は、中心線平均粗さRa (JIS B 0601)により表示した。

3. 実験結果及び考察

3-1 工具摩耗の測定

図1に主軸回転数10000rpmで順目方向切削を行ったときの、切削加工時間とルータビットのすくい面摩耗量（摩耗幅）との関係を2種類の工具材質について示す。

試験片の比重が大きくなるほど、摩耗量は大きくなる傾向を示し、比重が同程度の場合には、粘り強い材質のものほど摩耗量は大きくなると推察される。

ビットの摩耗経過としては、加工初期においてビット先端が鋭利なため、微小な欠損による比較的急激な摩耗が生じ、それに続いて、摩耗量が定常的な増加を示す傾向となっている。この後、摩耗の増大により切削熱の発生が顕著となることにより、再び急激な摩耗の増加を示す領域が現れる³⁾とされているが、切削熱の発生が顕著となった状態のまま、加工を継続した場合には、被加工面に焦げが発生

することがあり、焦げが発生した場合には、研削工程での修正が困難となるため、これより以前に工具を交換することが必要となる。

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、いずれの試験片を加工した場合においても、超硬ビットは、高速度鋼ビットに比べ摩耗量が少なくなる傾向を示し、シオジ及びヒバを加工した場合において、この傾向は顕著に現れた。これは、シオジ及びヒバを加工する際のビット刃先近傍の切削温度が高速度鋼ビットより超硬ビットにおいて、かなり低い値²⁾となっていることに起因していると推察される。また、一般に工具の硬さが大きくなれば摩耗量が減少する傾向を示す金属の切削加工の場合と同様な結果となった。しかし、微小欠損による初期摩耗量の大小が、その後の摩耗の進行状態に与える影響は大きく、ビット刃先先端の微小欠損の発生量は、工具材料の硬さばかりでなく、粘り強さにも関連し、また、加工初期における加工材の性状等の違い（たとえば晩材部と早材部とでの硬度差など）によっても変化するため、超硬ビットの摩耗量より高速度硬ビットの摩耗量が少なくなる場合も生じると推察される。

しかしながら、本実験の範囲内においては、高速度鋼ビットより超硬ビットにおける摩耗量が少なく、耐摩耗性に優れていると判断できるため、これ以降の実験結果は、超硬ビットを用いて行った。

図2(a), (b)および(c)に主軸回転数を変化させたときの切削加工時間と、ルータビットのすくい面摩耗量との関係を示す。

シオジにおけるビットすくい面摩耗量が $300\mu\text{m}$ に達する時間を3つの主軸回転数について検討すると、10000rpmで一番長く、継いで5000rpmとなり、15000rpmの際に一番短くなり、主軸回転数の増加にともなう工具寿命の直線的な減少傾向は示さなかった。これは、低主軸回転数（5000rpm）では、一刃当たりの送り量（一刃当たりの切削加工量）が大きくなるため、工具摩耗に送り速度の影響が顕著にあらわれ、逆に、高主軸回転数（15000rpm）では、一刃当たりの送り量が低主軸回転数の1/3と小さくなるため、ビットの回転が速いことによる影響が大きくなったためと推察される。

超硬合金を用いて木材を切削する場合において、摩耗量は切削速度による影響を受けないか、わずかな増加傾向を示す³⁾とされている。切削速度が速くなれば工具温度が上昇することと、木材の粘弾性的性質等のため、切削速度は工具の摩耗量に影響を与えられ考えられるが、被削材と工具材質との組み合わせにより結果は様々ではない。したがって、金属の切削加工で一般的に用いられるテラーの寿

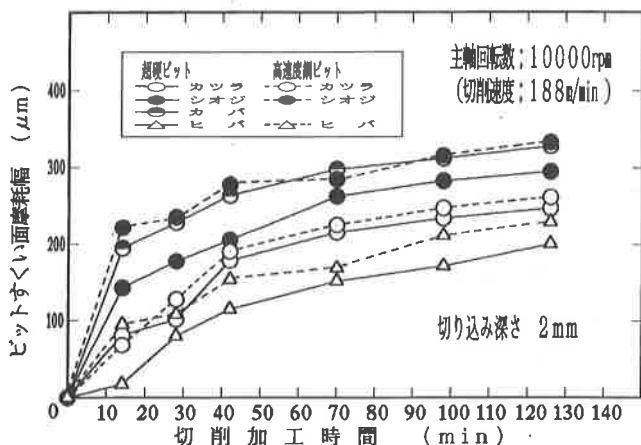


図1 切削加工時間とすくい面摩耗量との関係

命方程式⁴⁾に当てはまる場合と、当てはまらない場合とが生じることになる。

本実験においても、設定した主軸回転数全域にわたって、主軸回転数の増加にともなうビットすくい面摩耗量は、試験片により差異はあるものの、明かな増加傾向を示さなかった。しかし、主軸回転数を10000rpmから15000rpmに上昇させて加工を行った際には、すくい面摩耗量は増加する傾向を示し、特に、ヒバの加工においてこの傾向は顕著であった。

3-2 加工面の表面粗さの測定

図3(a), (b)および(c)は、カツラを順目方向に切削加工したときの切削送り速度と被加工面の表面粗さとの関係を、3つの主軸回転数について示したものである。ここで、図中の右端の数字は、加工した試験片の枚数を示している。

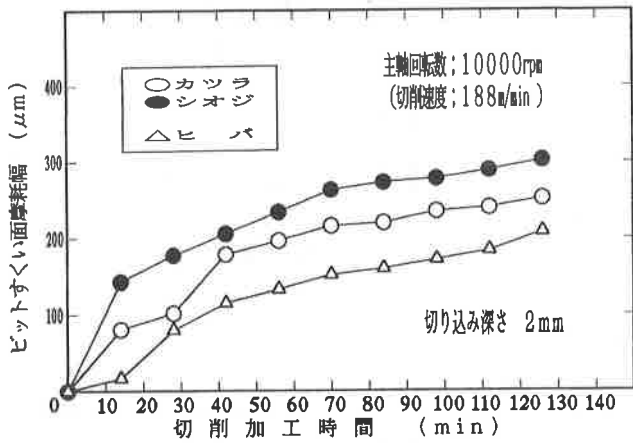
木材の組織構造の不整や材質的な不均一のため、データにはばつきは生じたものの、すべての主軸回転数において切削送り速度の増加にともない被加工面は悪化する傾向にあった。また、試験片加工枚数が多くなり、ビット摩耗量が増加するのにもない速い送り速度の時ほど加工面は悪化する傾向となり、これらの傾向は、比重の小さい試験片ほど顕著であった。

送り速度が増加すると一刃当たりの送り量が大きくなり、圧縮ひずみを受けやすくなるため縮み型やむしれ型の切り屑が発生しやすくなるため加工面は悪化することになると推察される。

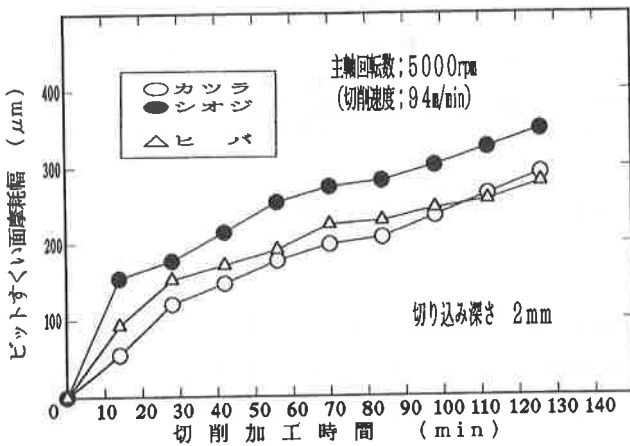
一方、主軸回転数による影響に関しては、5000rpmと10000rpmとでは、10000rpmにおける表面粗さの値の方が若干小さいものの同程度の大きさを示し、15000rpmにおける表面粗さの値は、他に比べ小さくなった。

これは、工具すくい面に沿って流れるように細かい切り屑が生じたことなどから、圧縮ひずみをあまり受けることのない切削が行われたためと推察される。

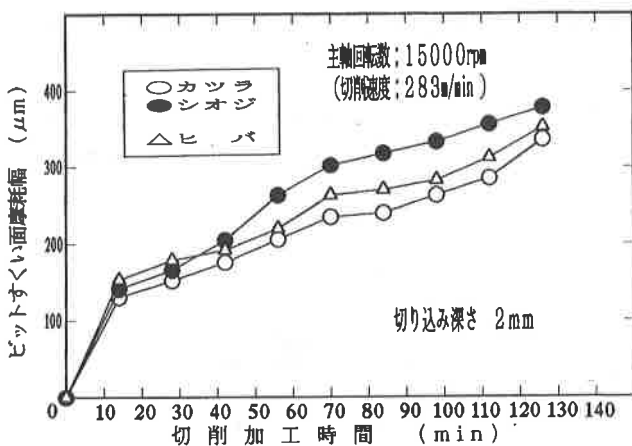
図4(a), (b)および(c)は、ヒバを、図5(a), (b)および(c)はシオジを試験片として、順目方向に切削加工したときの切削送り速度と被加工面の表面粗さとの関係を3つの主軸回転数について示したものである。ヒバを加工した際には、カツラを加工した時と、ほぼ同様な傾向を示しているが、5000, 10000rpmにおいて切削送り速度が速い場合の加工では、材質が軟らかく組織が通直であることから、工具すくい面前方での、圧縮変形による曲げあるいはせん断破壊が母材内部の方向に進行し、切り屑とともに引きちぎられることとなり、むしれ型の切り屑が多く発生し、大きなくぼみが生じたため、表面粗さの値は異常に大きくなり、被削性の悪さを示した。これについては、菅原ら⁵⁾が、同程度の比重である針葉樹のスギ(比重:0.39)、クロマツ



(a)



(b)



(c)

図2 切削加工時間とすくい面摩耗量との関係に主軸回転数が及ぼす影響

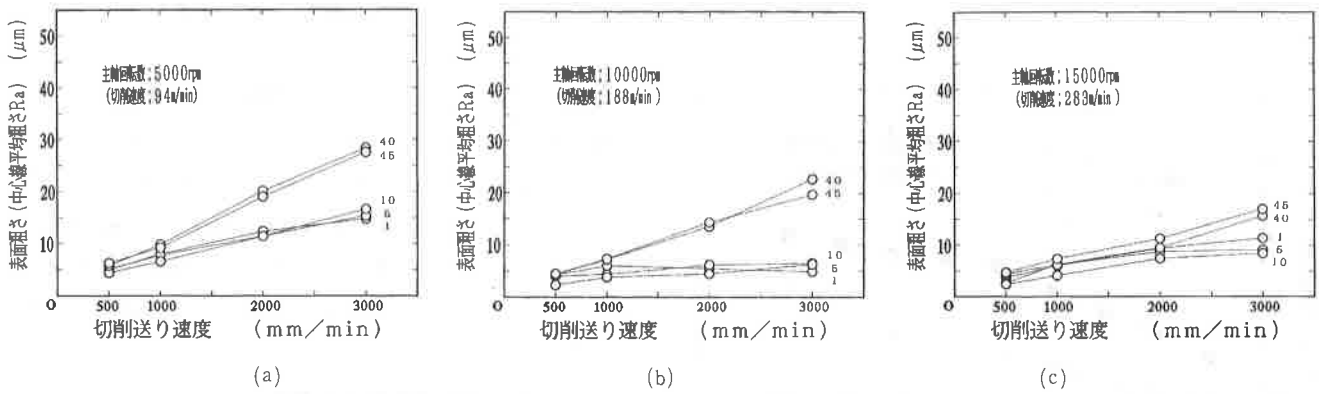


図3 切削送り速度と表面粗さとの関係 試験片：カツラ（順目方向切削時）

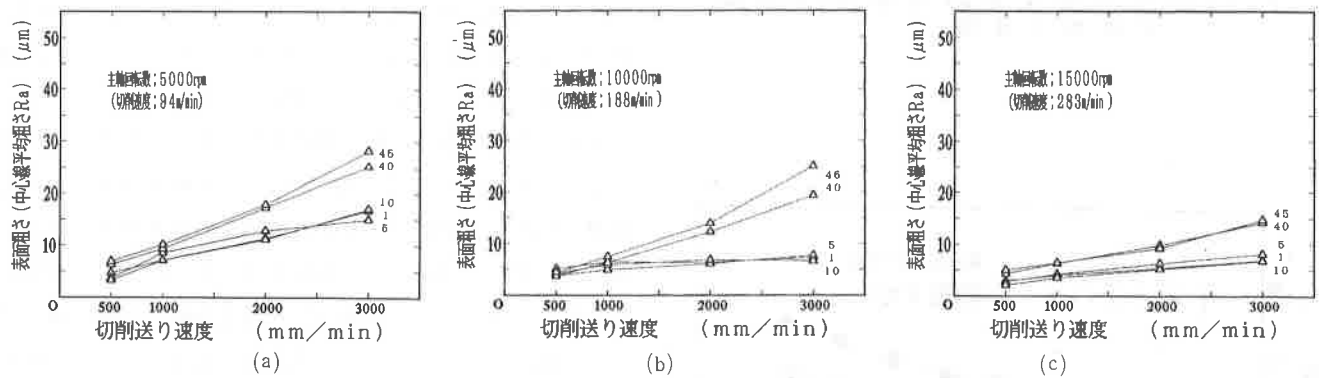


図4 切削送り速度と表面粗さとの関係 試験片：ヒバ（順目方向切削時）

（比重：0.43）を試験材として用いた実験において同様な傾向を示している。

一方、シオジを加工した際には、切削送り速度が加工表面粗さに及ぼす影響は同様な傾向を示したものの、主軸回転数が被加工面の表面粗さに及ぼす影響に関しては、10000、15000rpmにおける表面粗さの値に顕著な相違は確認されず、工具寿命を長く保つことを目的とした場合には、主軸回転数を15000rpmまで上昇させる必要はないものと推察される。

主軸回転数の違いによる表面粗さへの影響に関しては、シオジと同程度の比重である広葉樹のブナ（比重：0.61）を試験材として用いた実験において同様な結果が報告⁶⁾さ

れている。

図6(a)および(b)は、カバを試験片とし主軸回転数10000rpmにおいて、順目方向と逆目方向の切削方向の違いが被加工面の表面粗さに及ぼす影響を示したものである。送り速度が遅い加工の場合には、切削方向の違いによる被加工面の表面粗さへの影響はないものの、送り速度が速い加工の場合には、逆目方向切削時において表面粗さの値は大きくなり、ビットの摩耗が進行するにつれて、その傾向は顕著に現れた、これらの傾向は、本実験の他の試験片についても同様であった。

繊維傾斜角の違いによる表面粗さへの影響に関しては、喜多川ら⁷⁾がナラ（比重：0.8）、スギ（比重：0.35）を試

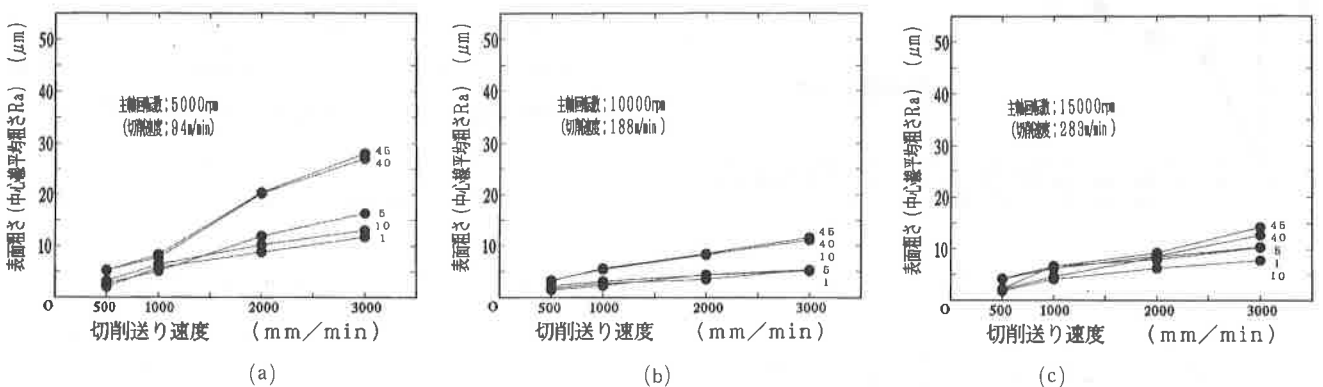
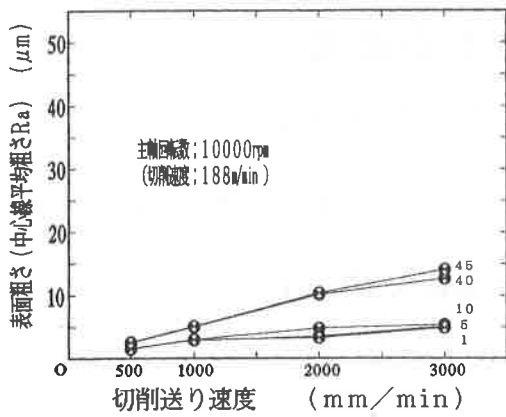
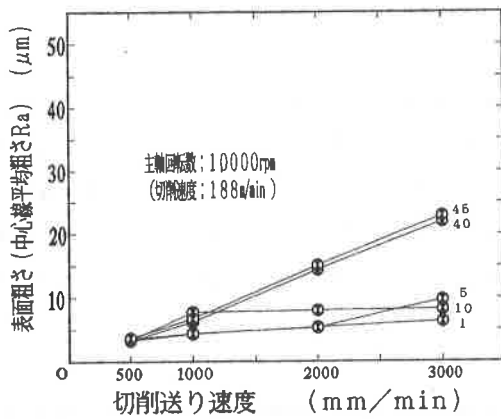


図5 切削送り速度と表面粗さとの関係 試験片：シオジ（順目方向切削時）



(a) 順目方向切削



(b) 逆目方向切削

図6 切削方向の違いが被加工面の表面粗さに及ぼす影響 (主軸回転数: 10000rpm)
試験片: カバ

験材として用いた実験において詳細な検討を加えているが、本実験の順目方向に相当する繊維傾斜角での表面粗さの値は小さく、逆目方向に相当する繊維傾斜角での表面粗さの値の方が大きくなっており、同様な傾向を示している。

5. 結 言

NCルータによる木質系部材の適正切削について検討を行ったが、得られた結果を要約すると下記のことが明らかとなった。

(1) 加工時間の増加とともに、ビットすくい面摩耗量は、増加する傾向にあり、摩耗の経過は微小な欠損のために急激な増加が生じる初期摩耗期間を示し、それに続き定率的に摩耗が増加する期間を示した。また、加工材の比重が大きくなるほど、摩耗量は増大する傾向を示した。

(2) ビットすくい面の摩耗量の増加にともない、被加工面は悪化する傾向を示し、特に切削送り速度が大きいときには、この傾向が顕著であった。

(3) 切削送り速度が増加すると加工面粗さの値は大きくなる傾向を示し、比重の小さい加工材ほどこの傾向は顕著

であった。また、針葉樹のヒバは、広葉樹のカツラ、シオジ、カバに比べ主軸回転数が低いときには、加工面は粗く、被削性の悪さが認められたが、主軸回転数が15000rpmの時には、比重のほぼ等しいカツラと同程度の表面粗さを示し、被加工面は良好となった。

(4) 逆目方向切削における加工面の表面粗さの値は順目方向切削における表面粗さの値と比較して大きくなる傾向を示し、切削送り速度が大きい場合にこの傾向が顕著となった。

(5) 本実験より得られたデータをもとに各加工材について、工具摩耗量と加工面粗さからの適正切削条件を以下に示す。

樹種名	主軸回転数(rpm)	切削送り速度(mm/min)
カツラ	15000	2000
シオジ	10000	3000
ヒバ	15000	2500

なお、上記適正条件の選定に当たっては、被加工面の表面粗さの値が、逆目切削においても $20\mu\text{m}$ 以下となることを前提とした。

また、この条件下では、ルータビットのすくい面摩耗量が $300\mu\text{m}$ に達するまでの時間は、100~120分程度であり、これが概ね工具寿命と推察される。

参考文献

- 1) 日本木材学会編：木材の加工，文永堂出版，1991
- 2) 長田孝，工藤正志：山梨県工業技術センター研究報告，1994
- 3) 田中千秋，喜多山繁：木材科学講座6切削加工，海青社，1992
- 4) 加藤仁：機械工作法，森北出版，1984
- 5) 菅原一秋ら：NCルータによる針葉樹材の適正切削，山形県工業技術センター報告，1991
- 6) 高田秀樹ら：ルータにおける加工面性状向上に関する研究，岐阜県工業試験場報告，1984
- 7) 喜多川幸泰ら：マイクロコンピュータによる木材の応用加工技術に関する研究，岐阜県工業試験場報告，1985