

# バレル研磨法によるバリ取りとエッジ仕上げ特性

—— 作業標準の設定を目指して ——

高沢 孝哉\*・山崎 正雄\*・北嶋 弘一\*\*

## Deburring and Edge Finishing Characteristics by Barrel Finishing

Koya TAKAZAWA, Masao YAMAZAKI and Koichi KITAJIMA

### Abstract

Barrel finishing is very popular for a final process of surface and edge finishing of machine parts, just before the assembly.

This paper describes the comparative characteristics of various barrel finishing process and how to select and establish the operation standards. It is very important to observe the detail of finishing phenomena, because this process is composed of many factors. After that, the theoretical explanation becomes possible to some extent. Such approach is not limited to mathematical expression, however rather more important.

First of all, the investigation into the actual condition of barrel finishing was performed, and so problems awaiting solution became clear. Placing importance to deburring and edge finishing, many experiments have been performed as follows.

1. Measurement and control of noise.
2. Estimation of finishing pressure and measurement of peening effect.
3. Effects on barrel finishing characteristics of many factors.
4. Characteristics of edge finishing within considering the limit of work shape.
5. Effect on edge finishing characteristics of work specific gravity.

Finally, mechanism of deburring and edge formation and how to decide operation conditions have been discussed.

### 1. はじめに

バレル研磨法は、製品組立て直前の部品の最終仕上げとして極めて重要であり、しかも広く生産現場で用いられている。ところで、すべての加工プロセスは設計を出発点としなければならない。製品はいくつかの部品により構成され、それぞれの部品の加工精度は製品性能に直接関連する。ここで加工精度として、部品の材料、熱処理の適性選択を前提にして、形状・寸法精度、表面粗さ(米国では、SURFACE TEXTURE という概念でもっと高度に加工表面トライボロジー問題としてとらえている)だけでなく、さらに SURFACE

INTEGRITY<sup>1)</sup>、エッジ品質 (EDGE QUALITY、バリを含む)<sup>2)</sup>を強調したい。すなわち、SURFACE INTEGRITY とエッジ品質の2つは、製品性能の向上と維持(寿命)に重要な関係があり、今後設計にあたり十分考慮しなければならない項目である。これは、筆者の主張する精度設計論<sup>3)</sup>を基礎にするものである。しかしながらこのような問題意識は、技術の本質とも言うべき重要なことであるのに、製品の設計と生産加工技術において見落とされている。

今日まで、多くの種々の仕上げ法が開発され実用化されている。部品に要求される品質とコスト、能率に依じて、どのような仕上げ法を選択し、どのように使用するかは重要な問題である。このような観点から、各種仕上げ法の特徴を把握し、比較検討するとともに、それぞれの方法について明確な作業条件を確立するこ

1993年9月24日受理

\* 機械工学科

\*\* 関西大学工学部

と、そして生産現場にエキスパートを育て配置することが必要である。したがって、各種仕上げ法の中でのバレル研磨法の位置付けを明確にする、すなわち比較加工学の確立が必要である。バレル研磨法は、その中でも設備費が比較的安く、容易に導入出来る仕上げ法であるが、作業標準の設定は多分に経験的である。また、騒音・振動抑制対策、廃液などの公害について解決すべき問題がある。最近、乾式バレル研磨が注目されているのも、作業性向上と廃液対策が理由である<sup>4)</sup>。

本論文は、このような趣旨にもとづきバレル研磨法を対象とし、とくにバリ取りとエッジ仕上げの観点から追求したものである。過去にバレル研磨法については、倉藤、松永によって運動学的解析を中心としたすぐれた研究が行われており、適正な作業標準の確立に寄与した。しかし、その研究対象は研磨量、表面粗さを中心とし、バリ取りとエッジ仕上げに関する問題については十分検討されていない。また木下らによる解説と木工のエッジ仕上げに利用した研究がある。さらに、向山らによる振動バレル研磨における加工物とメディアの運動解析の研究がある<sup>5)</sup>。後述するように、バレル研磨法の加工目的には種々あるが、ある加工目的を対象としても、他の加工精度項目やコストなどの制約条件を満足させながら、最適化を目指すという配慮が重要である。

筆者が本研究に取組んだ理由は、東芝に勤務中従事したバレル研磨の作業標準の確立の業務に動機づけられている。関連工場から作業事例を集めて統計的に整理したところ、それぞれの製品の部品に要求される品質(加工目的)、コストと生産量に応じて各種のバレル研磨法が適用されているが、ある一貫したルールが見られた。なお、表面仕上げとバリ取り・エッジ仕上げを専業としている東京都内の某企業における調査結果と対比しても同様であった。このような業界で長年の経験により出来上がった推奨条件の内容が理解出来ず、その根源を明らかにすることに強い関心を持った。

しかし、バレル研磨にも種々あり、それぞれについて要因が多く、その加工機構の解明は容易ではない。したがって、まず現象の詳細を素直に観察することであり、その後に理論的な説明がある程度可能になるものと考えた。ここで言う理論とは、必ずしも数式を並べるものではなく、現象の合理的な、あるいは定性的な説明を意味するが、このような理論はむしろ価値があると思う。強調したいのは、加工現象は数式で明快に説明出来るほど単純ではないということである。

本研究では、主として遠心式、回転皿方式、ボックス型振動バレル研磨法を対象にして、とくにバリ取りとエッジ仕上げの観点から、加工要因を変化させて加工物とメディアの流動状態や仕上げ状態を調査し、それぞれの特徴を比較検討した。そして、針金曲り変形法や ALMEN 試験法の応用による研磨圧の推定、PEENING 効果の測定、研磨量とエッジ仕上げ特性との関連、円孔を有する四角板の各部エッジ仕上げ特性、加工物比重の研磨流動に及ぼす影響と仕上げ特性について検討し、最後にバリの除去機構とエッジ仕上げ過程の観察から作業時間の設定方法について報告する。

## 2. 各種バレル研磨法の特徴と問題点の追求

一般論として、バレル研磨法の特徴と問題点について述べる。まず長所は、部品の形状や寸法にこだわらず、同時に多数の加工物を対象とするのでコストは低廉であることである。そして、その加工目的は、表面仕上げ、バリ取りとエッジ仕上げ、ピーニング効果付与、スケール取り、肌荒らし、油脂除去、防錆など多様である。短所は、形状や寸法精度の向上には適せず、部品内部の仕上げは不可能であることである。またバッチ生産であるので、部品単品生産の流れに対応しにくい。そして、メディアの相互摩擦による不経済な消費、加工物とメディアの分離による加工物同志の衝突による打痕、薄板、針金部品の変形、メディアの部品への目づまり、さらに作業騒音と廃液による公害問題である。このように、多角的な配慮を背景にしなければならない。

### 2.1 バレル研磨作業事例調査のまとめ

前述したバレル研磨作業事例に関し、回転(R)、遠心式(C)、回転皿方式(D)サークル型振動(V)方式の4種のバレル研磨について、つぎに掲げた項目別に調査の上整理した結果の概要はつぎの通りである。括弧内は各種バレル研磨法の略記号であり、以下使用する。本調査は、問題点の把握と研究の焦点を絞ること、そして加工機構解明の手がかりを得ることを目的としている。これらの調査内容は、あらゆる部品を対象にした実態調査であることを断っておく。

#### 1) 適用加工物の最大、最小寸法

最大寸法については、D、V方式は0以上170mmの範囲に分布し、最も頻度が多いのはV方式については80~100mmである。R、C方式は100mm以下の小寸

法に集中し、頻度として10~50 mmの範囲が多い。最小寸法については、すべての研磨機について0以上~8 mmの範囲に分布し、どちらかと言えば、0.5~3 mmの頻度が多い。この問題は、バレル研磨機の原理に関係し、槽容量や形状・寸法に制限されることは言うまでもない。

## 2) 加工目的

加工目的には、バリ取り、エッジ仕上げ、光沢仕上げ、丸み付け、銕肌仕上げ、スケール取り、肌荒らし(梨地)などがある。R方式は設備低廉のため最も広範囲の目的に用いられる。どの機種についても、バリ取り、エッジ仕上げ、光沢仕上げが主体である。とくに精密仕上げに向くのは、R、V方式である。最近、乾式で砥粒入りポリビニール・メディアを用いる鏡面研磨が注目されている。ピーニング効果による疲労強さの向上目的もあるが、まだ問題意識が低く対象となっていない。

## 3) 作業時間

R方式は1~16時間以上に及んでいる。他の機種は6時間以下で、最も頻度が多いのは1時間前後である。一般に、精密仕上げには時間をかけることが多い。

## 4) 適用されたメディア形状・寸法と材質

形状としては、球形、アングルカット、三角形、円錐形、塊状、材質として焼結、鋼、プラスチック、竹、ガラスビーズなどがある。目的別に言えば、光沢仕上げには比較的軽く小寸法の角の少ない球形、三角形(小寸法)、アングルカット、塊状のメディアが用いられる。前述したように乾式でポリビニール・メディアや竹を用いる鏡面研磨の開発が進んでいる。研磨能率を上げるためには、比較的重量が高目で寸法の大きな、しかも研磨力のあるメディアを使用する。このようにメディアの量と比重も問題であり、本研究の検討事項となっている。穴や溝のある部品には、メディアが目詰まりしない寸法を選択する。

## 5) その他

添加するコンパウンドは、加工目的に対して重要な選択項目であるが、その内容は規格もなくブラックボックスになっていて今回は調査対象から外した。

以上は調査結果の全般的な報告であるが、このような実情を分析し、その内容を解明すれば、さらに新しいバレル研磨技術の開発に寄与し得るものと考ええる。本研究では、調査内容の中からいくつかの問題点を拾って検討した。騒音問題は、生産現場では今後の重要な問題であり、筆者が過去に欧州で調査した結果で

は、設計面でも蓋による遮音、槽のプラスチック化による騒音抑制、消費電力節約など積極的に検討されていることに注目する必要がある。

## 2.2 各種バレル研磨における研磨圧の推定実験とピーニング効果の確認

研磨量、エッジ仕上げ量は、それぞれのバレル研磨における研磨圧、加工物とメディアの相対速度、作用時間の相乗効果として一応考えることが出来る。しかし、後述する Fig. 7の実験結果から相対速度はむしろ小さい方がよく、これが大きいと衝撃の要素によりむしろ打痕現象が増えて有効に研磨が進行しないものと考えられる。よって、ここでは研磨圧が有効要因と考えて、針金の曲り変形試験とピーニング効果を知るための ALMEN 試験の応用で推定することを試みた。研磨圧の直接測定は難しく、加工物の中に加速度計を内蔵させて無線受信で測定するという試みもあるが、失敗している。予備実験として行った結果について、以下述べる。

### 1) 針金の曲り変形試験

本実験は、回転 R方式、回転皿 D方式とサークル型振動 V方式の3種のバレル研磨について、種々の径と長さの鋼線を投入し、両端支持の曲げ荷重による曲りと考えてその変形量から研磨圧を推定した。その曲りは、すべて長さの中央で生じている。

Fig. 1(a), (b)は、各種バレル研磨についてある加工条件下での針金の長さを変えた場合の曲り量の測定結果であり、一例として示せば研磨圧はR方式では4.3 kg、D方式では5.4 kg、V方式では0.5 kg程度であると推定される。勿論、メディアの種類、量や運動要因によっても異なってくる。R方式では、意外に研磨圧が高いことは運動要因に支配されるためであろう。

### 2) ALMEN 試験の応用によるピーニング効果の測定

Fig. 2は ALMEN 試験(N試験片使用)の応用による実験結果である。ショット・ピーニングの場合は、ショットが鋼球であるから殆ど研磨されず有効なピーニング効果が期待される。バレル研磨の場合は研磨が進むので、表面から圧縮応力層が除去され ALMEN 値を減少させることにより、この値は相殺効果として表れることを考慮しなければならない。別の実験では、回転皿の回転数の増加とともに ALMEN 試験片の研磨量は増大し、圧縮応力層は残存するものの ALMEN 値は減少している。したがって、このような実験では

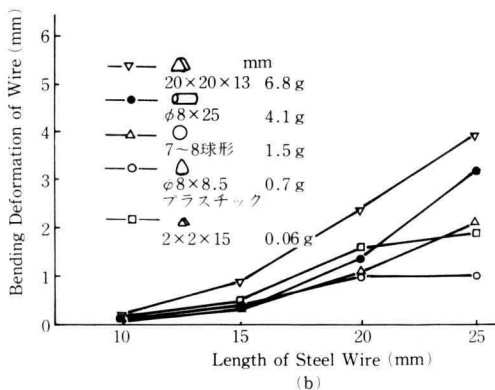
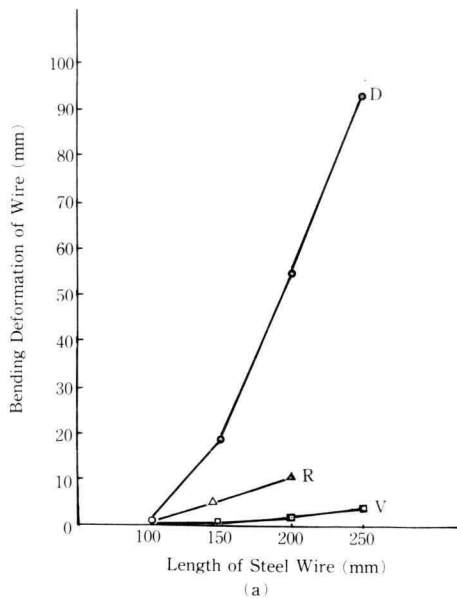


Fig. 1. Steel wire bending test by using the various barrel finishing

研磨圧の直接的測定にはならない。しかし、このような ALMEN 試験を各種バレル研磨法に適用することにより、間接的に研磨圧やメディアの研磨挙動の推定に役立つ。ここで、バレル研磨によってピーニング効果が期待されることを認識すべきである。

### 2.3 各種バレル研磨機の騒音測定と対策

騒音の問題は、研磨性能と別の内容であるが、環境問題や作業性に関連があり重要であり、加工条件設定にあたって考慮が必要である。一般に静音である程精密仕上げに適している。バレル研磨機の機種別について

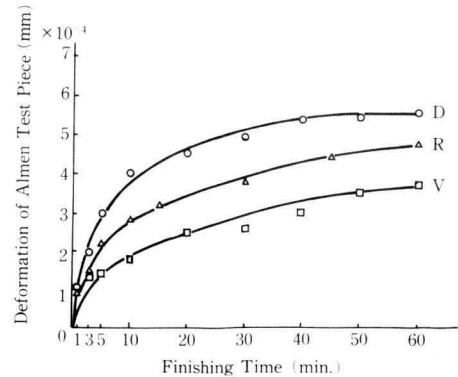


Fig. 2. Comparison of the various barrel finishing by application of ALMEN test (peening effect test)

では、一般的に出力の大きい C, D 方式は騒音が高目であり、出力の小さい V, R 方式は低目である。しかし、遠心式バレル研磨の C 方式は、安全対策からカバーされていることがむしろ遮音に役立っている。ここでは、D 方式を中心に研究結果の一部を要約して報告する。

### D 方式の場合の試験結果

実験条件として、回転皿回転数、メディア量を変えたり、装置の蓋の有無、遮音カバーの取り付けの有無の影響について騒音問題を検討した。遮音カバーは鉄骨アングル構造にベニヤ (厚さ 2.5 mm)、発泡スチロール (厚さ 20 mm) で囲ったものである。

回転皿回転数を 100 rpm から 300 rpm に増加すると、騒音レベルは 79 dB から 82 dB に上昇した。つぎに、200 rpm の標準条件について、装置の蓋を外すと 86 dB に上昇し、遮音カバーを取り付けると 72.5 dB に低下しかなりの効果があった。つぎに、これを周波数分析した結果を Fig. 3 に示す。この図の中で、高周波成分はメディアと槽との衝突によるものと思われるが、カバーによりこの高周波成分がかなり除去されるが、低周波成分は除去されないため、装置設計に改善が必要である。

## 3. バリ取りとエッジ仕上げ特性に関する実験

### 3.1 研磨特性に及ぼす関連要因の影響

関連要因として、加工物の材質、形状、寸法、メディア、コンパウンドの種類、量などの構成要因、そして機種により異なるが回転数(槽、回転皿)、振動数と振幅、作業時間などの運動要因がある。

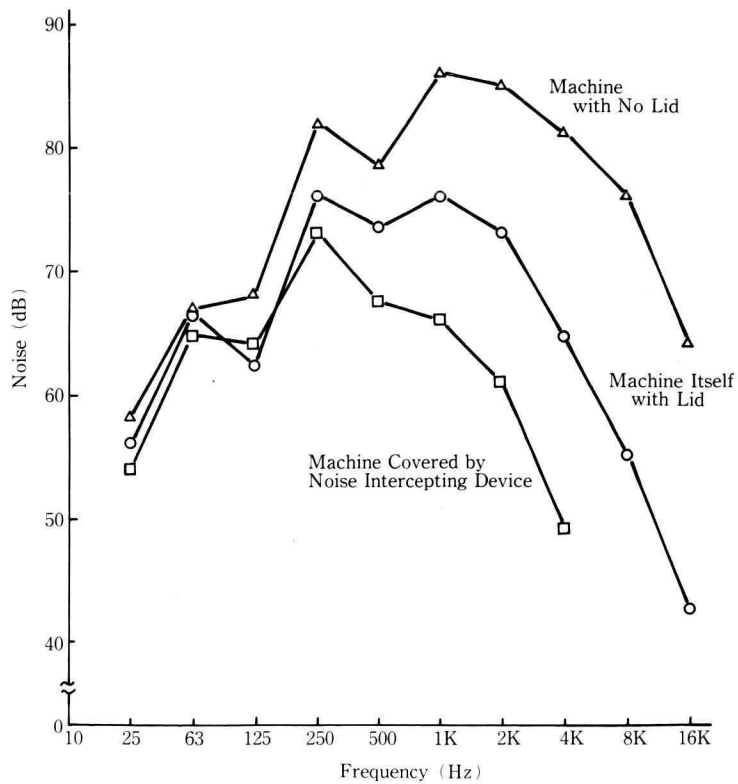
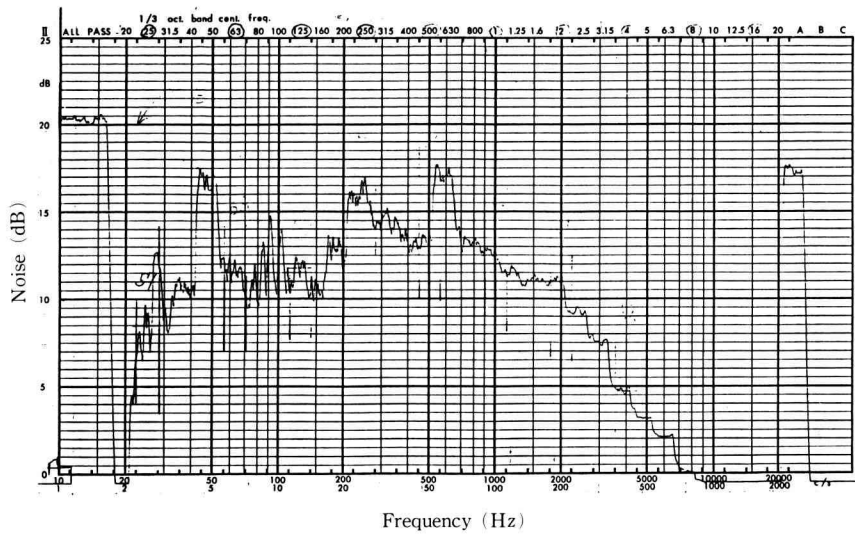


Fig. 3. Frequency analysis of noise of barrel finishing using D machine

本研究では、バリ取りとエッジ仕上げに焦点をあてているが、後述するように研磨量とエッジ仕上げ特性の間には密接な関連があることが明らかにされているので、研磨量に及ぼす諸要因の影響を調べ、最適条件を設定することにも意味がある。一般に、エッジ仕上げ量よりも研磨量を対象にした方が容易だし、実験の精度も高い。また、バリ取りとエッジ仕上げを目的とする場合でも、同時に表面粗さ、ピーニング効果、加工部品の変形、部品とメディアの分離による打痕、メディアの磨耗量や磨耗に伴う性能劣化現象、メディアの部品への目つまり現象、そして加工コストといった要因を無視できない。バリ取り・エッジ仕上げとともにこれらの要因を作業目的とすることも多いし、また

二次効果としてのトラブルともなるので、常にトータルシステムとして考慮すべき問題である。要は、バリ取りとエッジ仕上げ作業だけの最適化では片手落ちである。

Fig. 4 は、D 方式の場合について、各種材質試料の体積研磨量とエッジ仕上げ量、表面粗さに及ぼすメディア量の影響の一例を示す。これらの実験は、すべてバリの無い鋭いエッジ試料(寸法は後述 Fig. 12)を用いている。ここで、メディア量の変化により S35C、304 ステンレス鋼はあまり影響を受けないが、四六黄銅はメディア量 4 kg から研磨量、エッジ仕上げ量は減少し、Al はむしろ上昇する。この理由は、複雑でありまだ説明されていない。一つの理由としては、Fig. 5 に示した

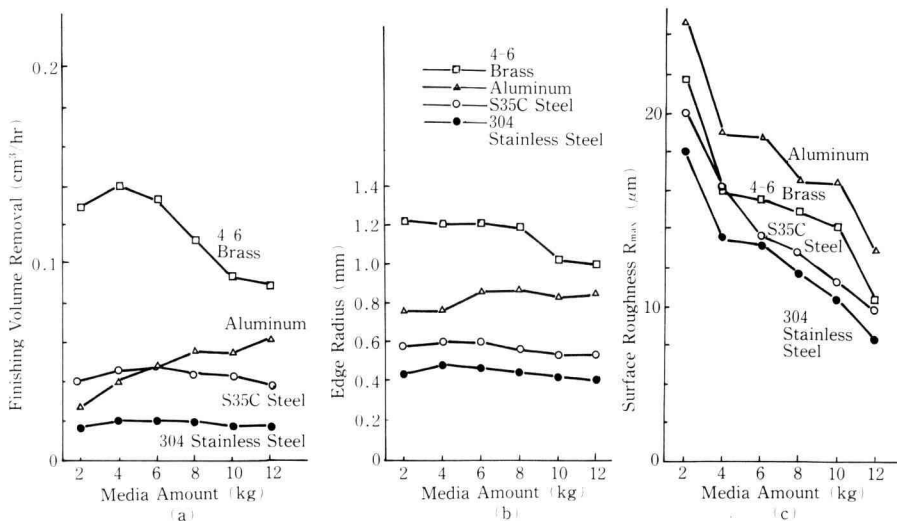


Fig. 4. Effect on finishing volume removal, edge finishing, and surface roughness of media weight in D machine

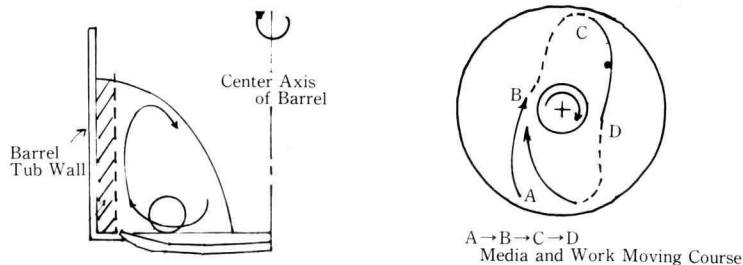


Fig. 5. Media and work moving behaviour in D machine

充填物流動層の中で比重の差により四六黄銅は槽の底部近くで、一方 Al は槽の上部近くで運動軌跡を描き、研磨圧の大小とともにメディアの作用の仕方が異なるためではないかと推測される。また槽の中の位置により、研磨圧、メディアとの相対速度（後述の Fig. 7 参照）、作用数などの相乗効果の違いがあるものと考えられる。

Fig. 6 は、体積研磨量とエッジ仕上げ量との関係を示す。このような表現では、これらの関係は材質にはほぼ無関係に決定されることに注目すべきである。この図には、データとして示されていないが、R, V 方式は研磨量が少ないが同一線上にプロットされる。

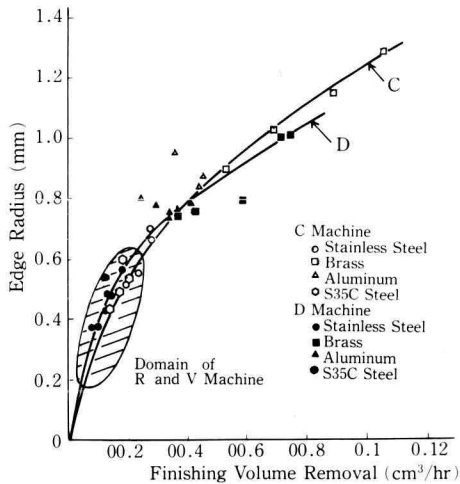


Fig. 6. Relationship between finishing volume removal and edge finishing

Fig. 7 は、D 方式で回転数 200 rpm の条件でメディア量を変えた場合について、加工物とメディアの相対速度（それぞれ一個に紐を結びつけて槽中のある時間での回転数で求める）(a) とバリ取り・エッジ仕上げ時間（求め方は後述する）(b) との関係を示す。この場合、試料には高さ 0.3 mm、根元厚さ 0.3 mm のバリ（旋削で作成したモデル）を付与してあり、バリの存在がエッジ生成を抑制する作用があるので、Fig. 4 の場合とはエッジ仕上げ特性が異なるを注意しなければならない。すなわち、バリが張り出している方向では、エッジ形成過程が遅れる傾向がある。この実験で明らかにされたことは、相対速度が大きい方が仕上げ量が大きいのではないかと予測に反し、むしろ小さい方が加工物とメディアの接触回数や時間が増えて仕上げ量が大きくなるものと考えられる。

以上の議論は、回転皿方式の場合であり、他のバレル研磨ではそれぞれ独自の現象が見られるものと考えられる。

バリ取り・エッジ仕上げを主とする作業でも、二次効果としての表面粗さは考慮すべき問題である。バレル研磨法は、加工物を挿入しなくても運転すればメディアは相互の摩擦により磨耗が進行するのが欠点である。この意味では、後述するように所要電力がなるべく少なく、仕上げ効率の良い方法が好ましく、あるいは加工物だけを振動あるいは自転公転させ、出来るだけメディア同志の摩擦がない研磨方式の工夫が望ましい。D 方式では、メディア量、回転皿の回転数を増すと、ほぼ比例してメディアの磨耗が増えることも明らかにされている。また、作業時間の進行とともに、メディア単体も磨耗して形状と寸法が変化しメディア

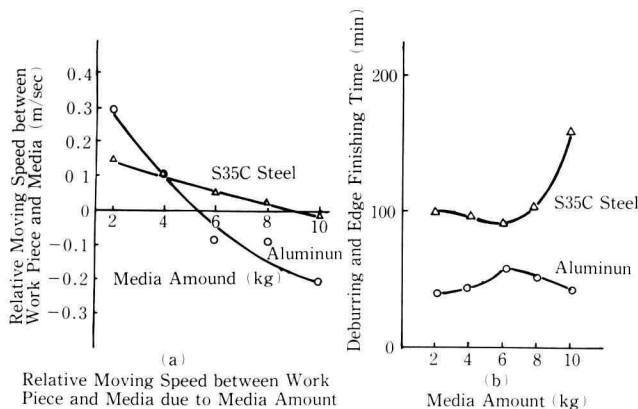


Fig. 7. Effect on finishing behaviour of media amount in D machine

表面の凹凸も減少して切れ味も 10% 程度低下する。さらにメディア量全体も減少して、これらの相乗効果で表面粗さは良くなるが仕上げ効率は低下する。

Fig. 8 は、各研磨装置がどの程度の電力を消費しているかについて調べたもので、無負荷、水のみ、さらにメディアを 2~8 kg と加えて行った場合の結果を示す。メディアの種類によっても多少の違いがあるが、負荷電力から無負荷電力を差し引いた正味電力が研磨作用に関与するものであり、C 方式は D 方式の約 2 倍、V 方式の約 5~6 倍を示しており、加工コストの計算上で考慮すべきものである。すなわち、作業能率とコストとのバランスを考えねばならないことを示唆している。

### 3.2 円孔を有する四角板のエッジ仕上げ特性

Fig. 9 のような加工部品サンプル(アルミニウム)とメディア 2 種を用意し、バレル研磨装置として D, C, V 方式の 3 種について、図中に示されたエッジ部における面取りアール形成、孔内面の表面粗さ改善やメディアの目づまり状況について観察した。以下、結果の一部を示す。Fig. 10 は、サンプルの孔径が 10 mm の場合で、メディア B を用いた場合の孔内面の表面粗さの作業時間に対する改善状況を示す。その結果は、C, V, D の順であった。

Fig. 11 は、各研磨装置別に、3 種の孔径のサンプルについてメディア A を用いた場合の作業時間に対するエッジ各部のエッジ形成過程を示す。機種としては、

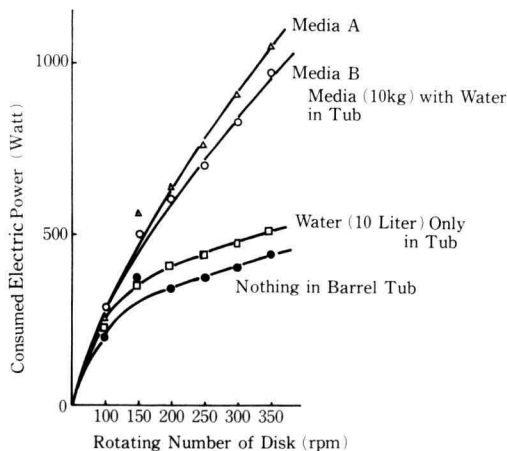


Fig. 8. Effects on consumed electric power of rotating number of disk at various conditions in using D machine

C 方式が最も能率が良く、D, V 方式は同じレベルを示す。

### 3.3 回転皿方式バレル研磨における加工物の比重のエッジ仕上げ特性に及ぼす影響

さきに Fig. 4 に示したように、各種材質に応じてメディア量の体積研磨量に及ぼす影響に相反する特異な現象が示された。その理由の一つとして、加工物材質に応じた比重の差が研磨流動特性に影響するためと推

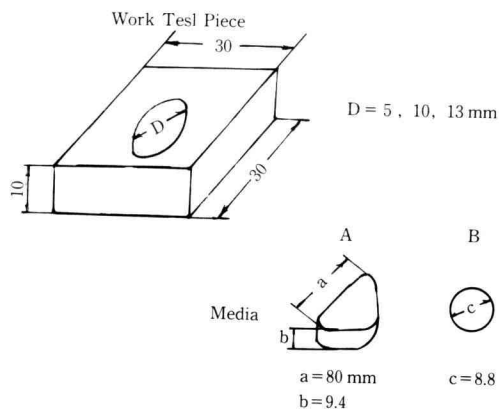


Fig. 9. Test piece of square plate with round hole and media used in test

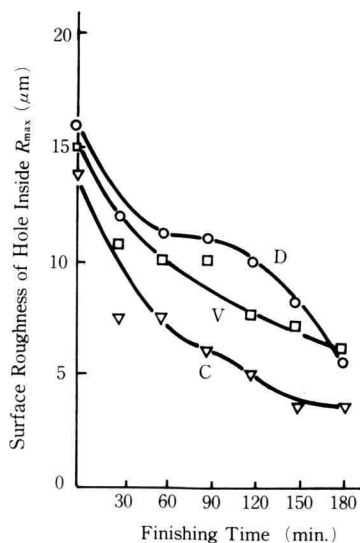


Fig. 10. Improvement of surface roughness of inside hole with finishing time by using various barrel finishing



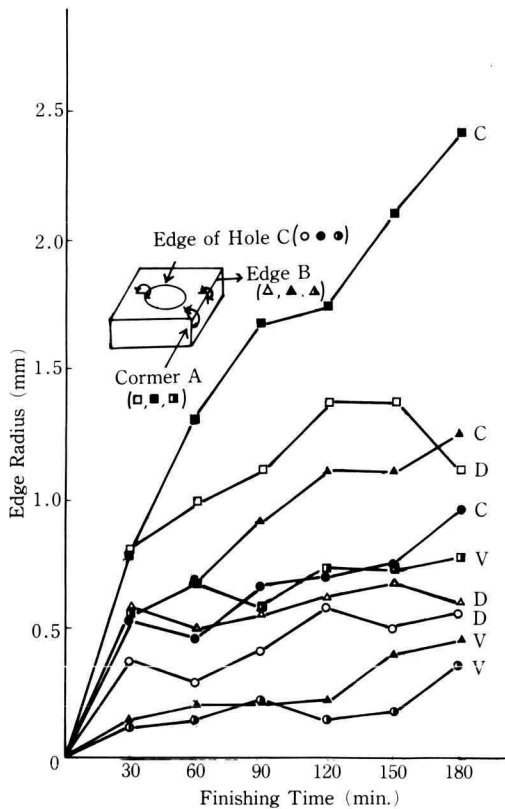


Fig. 11. Edge finishing behaviours of various position test piece by using various barrel finishing

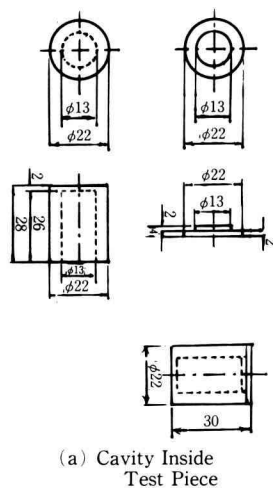


Fig. 12. Test piece for adjusting specific gravity

測した。

試料モデルとして, Fig. 12 に示すように外観はアルミニウムで実体 (比重 2.71), 中空 (見掛け比重 2.02), 内部に黄銅充填 (見掛け比重 3.93), 四六黄銅で実体 (比重 8.39), 中空 (見掛け比重 4.23) を用意し, D 方式によりエッジ仕上げ特性を回転皿の回転数を 90, 190 RPM の 2 種に変えて検討した。

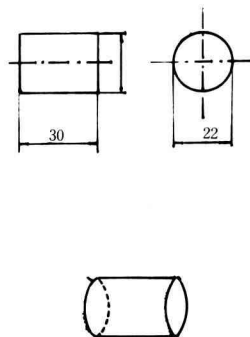
Fig. 13(a) は, 作業時間に対するアルミニウムのエッジ仕上げ特性を示したもので, 回転皿の回転数が高い方が見掛け比重の差の影響が強く現れている。Fig. 13(b) は, 同様に四六黄銅試料の場合である。このように, 比重の影響は極めて複雑であり, 簡単には結論づけることが出来ないが考慮すべき事項であることは間違いない。

#### 4. バリの除去機構とエッジ形成過程<sup>6)</sup>

##### ーバリ除去・エッジ仕上げ作業時間の設定ー

Fig. 14 に示すように, 各種材料の試料 (直径 20 mm, 長さ 30 mm) に模擬バリを付与し, バリの寸法, 張り出し方向, 加工条件を変えて基本的な検討を行った。D および V 方式を用い, D 方式では回転数を変え, メディアとして三角形と円錐プラスチックを用い, 量を変え, 水は 10 l の条件である。研磨時間の進行とともに, 頻繁に試料のバリの除去状況を詳細に観察した。

加工エネルギーの大小 (ここで加工エネルギーが小さい場合は, プラスチック・メディアの利用, D 方式で回転の低い条件と V 方式使用の時) により, バリの



(b) Solid Test Piece

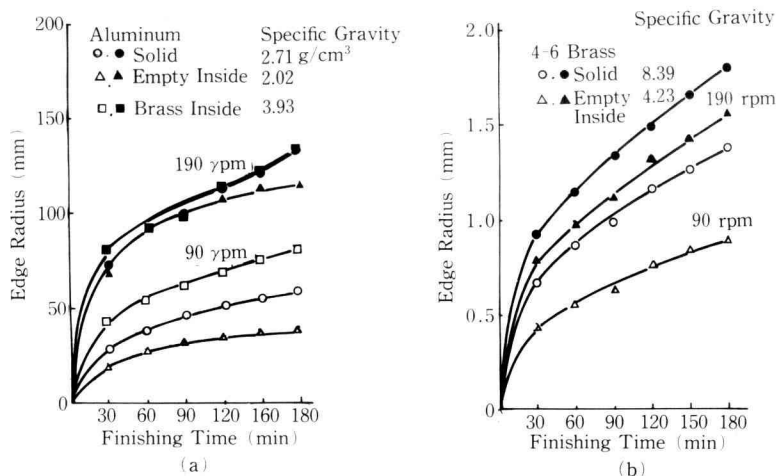


Fig. 13. Effect of edge finishing with finishing time of rotating number of dish in using D machine

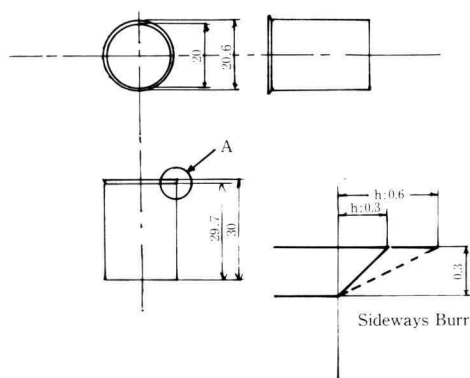


Fig. 14. Burr model of test piece

除去過程は異なる。Fig. 15(a), (b) は、基本的なバリ除去機構とエッジ仕上げ過程を示す。

ここで、加工エネルギーの大きい場合には、つぎのような4つの領域を辿る。

**I 領域** 研磨の始めにバリ高さは急激に減少する。これはバリ先端が大きく曲り、倒れによる。僅かながら研磨も進行する。

**II 領域** バリ高さの減少は、ゆるやかに研磨により進行する。

**III 領域** バリの根元近くまで研磨が進むと、分離脱落する。

**IV 領域** 根元の残ったバリが徐々に研磨され、エッジが形成される。

加工エネルギーが小さい場合は、分離脱落は無く、比

較的緩やかな I, II 領域を辿り III 領域を経ないで、エッジが形成される。

Fig 16 は、バリ高さ ( $h$ ) と研磨時間 ( $t$ : 半対数目盛) の関係を示し、研磨初期を除けばほぼ直線関係となり、 $t = ke^{-ah}$  の実験式で示される。この式において、バリ高さ  $h$  を 0 とすれば、実験式からバリが除去される時間が  $k$  として求められる。

以下、とくに断らない限り、装置は D 方式の場合である。

Fig. 17 は、S 35C について縦バリ、横バリとその高さと研磨時間との関係を示す。この結果は、1) 横バリの方が縦バリよりも研磨時間がやや短い。2) バリの高さによる影響は少ない。

Fig. 18 は、Al の横バリについて回転数を変えた場合の関係を示す。これによると、1) 回転数が高い方が研磨時間は短い。2) バリの高さが大きい方が研磨時間が長い。3) 回転数を低く、加工エネルギーを小さくした場合には、上記実験式を求めるための直線関係は除去がやや進行してから得られる。

別の実験で、回転皿回転数が低いか、メディアとしてプラスチックを用いた加工エネルギーが小さい場合には、1) 研磨の始めからバリが除去されるまで、僅かなバリの曲げと倒れとともにゆるやかに研磨される。2) semi-logarithm スケールでの直線関係は、プロセスがある程度進行してから得られる。

Fig. 19(a) は、アルミニウムの横バリについてのメディア量とバリ除去時間  $k$  との関係を求めたものである。回転数と除去時間の関係は、回転数を上げるほど、

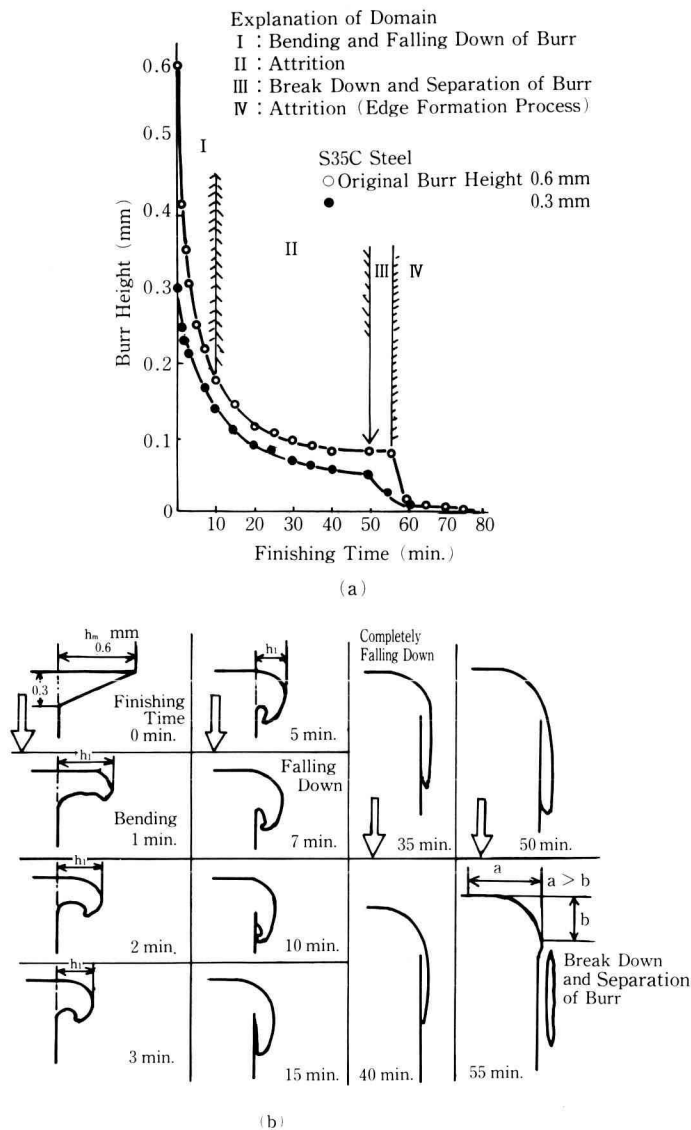


Fig. 15. Decrease of burr height with finishing time and its behaviour

当然ながら除去時間は減少する。なお、(b)に示すように、バリ高さのバリ除去時間に及ぼす影響は、バリの高さに比例することもあるが、それ以上の時間を必要とすることがある。しかし、Fig. 17では、S 35C についてはバリ高さの影響は少なかった。この問題は、加工物材質によっても影響される。

#### 4. 総合考察とむすび

以上、バレル研摩の作業標準に関連して裏付けとなる調査研究、研摩特性に及ぼす関連要因の影響の実験、研摩圧の推定、加工物の比重の流動状態への影響など加工機構解明の予備実験、最後にバレル研摩によるバリ除去機構とエッジ形成過程や作業時間設定法について説明した。この種の研究では、考慮すべき要因が多

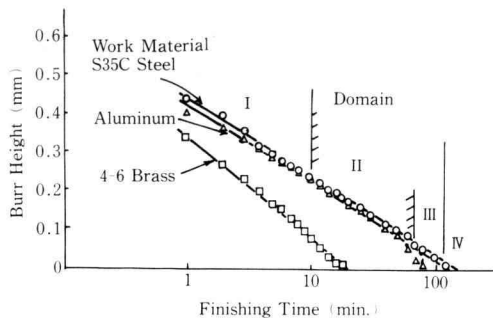


Fig. 16. Decrease process of burr height of various material with finishing time in using D machine (in semi-logarithm)

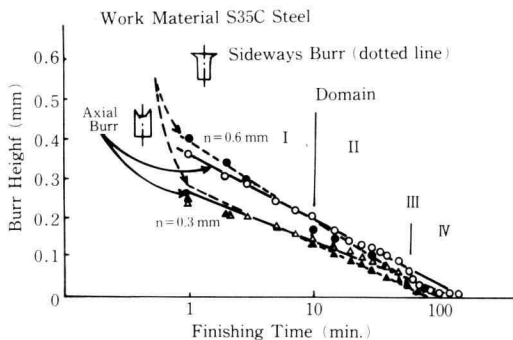


Fig. 17. Decrease process of height of axial and sideways burr with finishing time in using D machine

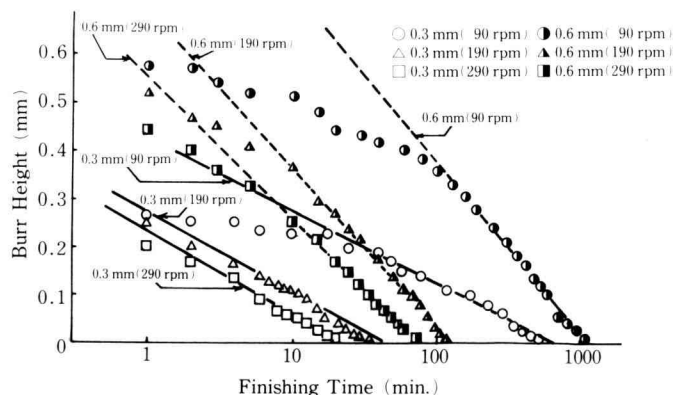


Fig. 18. Decrease process of burr height at various rotating number of dish in using D machine

くすべての条件について論じることには大変困難であり、また統一した解釈もなかなか得難い。また、加工物もメディアも遊離流動状態であるために、現象の定量的把握が難しい。しかし、本研究によりパレル研磨法に関し、関連要因のバリ取り・エッジ仕上げ特性に及ぼす影響に関し定性的な概念は把握出来た。生産現場における作業は、各種製品の部品に応じてその仕上げ目的も多様であり、ケース・バイ・ケースについてその都度適正条件を模索しなければならない。その条件の組合わせは、天文学的数字にもなる。したがって、すべてを説明することは不可能であり、普遍的なルールを得るにはさらに今後の膨大な研究を必要とする。ここで、本研究で得られたパレル研磨に対する指針と言ったものを述べて結論とする。

1) 本研究の主題はバリ除去機構とエッジ仕上げ過程の解明により、適正なパレル研磨法と作業条件の確立を目指している。しかし、エッジ仕上げが満足されても、プラス面とマイナス面の二次効果（表面の仕上げ性、打痕、加工物の変形、メディアの磨耗、加工コストや加工騒音問題など。）が同時に満足されないという意味がない。このようなトータルシステムの最適化思考が重要であることを指摘したい。

2) パレル研磨作業実態の徹底した調査は、問題点の発掘に有効である。これまでパレル研磨作業は、メーカーとユーザーの協力により主として経験にもとづく実績の積み上げ、すなわち技能的観点から適正作業標準が設定されている。パレル研磨による加工現象の複雑性は、簡単には予測出来ない性格のものである。

3) 加工部品は、設計上の要求により種々の形状、寸

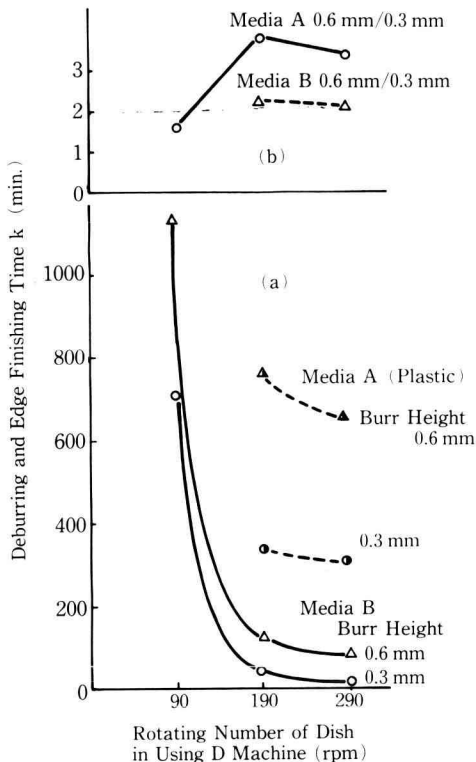


Fig. 19. Effect on deburring and edge finishing time of dish rotation number

法が与えられ、多くのエッジやコーナー部を有している。しかも、最近先端技術関連部品でエッジ品質に対して機能的に厳しい要求が増えている。エッジ品質については、部品機能との関連をもっと明確にしなければならぬと言う基本的な問題がある。ここでエッジ品質とは、単に形状・寸法の問題だけではなく、SURFACE TEXTUREや内部の結晶組織、加工歪み、圧縮応力などのSURFACE INTEGRITYの内容を意味するのである。部品はエッジから破損する機会が多く、これに対してパレル研磨により得られたエッジ品質は良い特性を示すことに注目したい。

4) パレル研磨法は、それぞれ多くの関連要因があり、その定量的な把握は極めて難しい面がある。たとえば、メディアと加工物は遊離流動状態であるために研磨圧、接触回数と時間の計測は現状では困難である。しかし、針金曲り変形法、ALMEN試験法の応用は、研磨圧の推定に役立つものである。これらの方法を要求に応じて、作業標準の設定に活用してはどうか、と考

える。

5) 複雑形状の加工部品における各部のエッジを自由自在に仕上げるためには、パレル研磨法の選択、メディアの選択、作業条件、作業時間の適正な設定など考慮すべき事項が多いので、これらを裏付ける指針とも言えるべき基本的な資料が必要である。本研究では、このような観点からするいくつかの資料を提供出来たと考えている。

6) それぞれのパレル研磨法において、加工部品がメディアとともに相対的にどのような運動状態にあるか、分離による打痕現象や部品の変形に関連して把握する必要がある。本研究における加工物の比重に関する実験結果は、一つの示唆を与えるものとする。

7) 従来作業時間の設定は、まさに経験的であった。必要にして十分な作業時間の設定が実施されねばならない。しかし、満足するエッジ仕上げが得られたかどうかの作業時間の設定は誤差が多く、不経済性をまのがれない実情である。本研究における作業時間設定法を用いて、さらにデータを積みあげれば加工要因の設定も含めて有効な指針を得られるであろう。

## 文 献

- 1) 高沢孝哉：SURFACE INTEGRITY, 精密工学会誌, 55巻10号1989年10月, p. 40.
- 2) 木下直治, 高沢孝哉監編集著：精度設計と部品仕上げシステム技術, 日経技術図書 p. 724.
- 3) 高沢孝哉：精度設計とコスト問題, 精密機械, 48巻4号, 1982年4月, p. 423.
- 4) 北嶋弘一, 田中行雄, 角野寿朗, 山中章裕, 野呂田進：ドライパレル研磨に関する研究, 第1報, 精密工学会春期大会講演論文集, p. 501, 1993年3月.
- 5) 倉藤尚雄, 須田 孝, 門脇 勤, 田中 浩：パレル仕上法の研究, 第1報, 精密機械1952年3月. 木下直治：パレル仕上：精密機械23巻4号, 1957年4月. 木下直治, 細田靖二：木材のパレル仕上に関する研究, 研磨布紙加工6巻20号1968年10月. 向山芳世, 緒方 勲, 中込勝利：振動パレル加工の加工機構に関する研究, 第1報 山梨大学工学部29巻1979.
- 6) 高沢孝哉, 山崎正雄：パレル研磨によるバリ除去機構の実験的解明, 1990年精密工学会秋季大会講演論文集.

## 謝 辞

本研究は、チップトン(株)、新東ブレータ(株)、東洋研磨材工業(株)のご協力により 1980 年以来、長年研究を続けて来た成果の要約である。再三述べたように、バレル研磨技術は多様化された総合技術であるために、その解明には困難な面が多く、必ずしも期待に

える内容に至っていない。しかし、今まで指摘されていなかった、そして疑問とされていた問題を追求し、ある程度作業指針を得るための基本的資料を提供出来たと考える。上記 3 社ならびに熱心に卒業研究として取り組んでくれた学生諸君に対し、深く感謝の意を表する。