

ダイヤモンドポイントの実験的製法に関する研究

(第2報) 試作装置と研削評価について

荻野 碩哉, 若狭 邦男, 山木 昌雄

A Study on Experimentally Manufactured Dental Diamond Points

Part 2. Experimental Equipment and Cutting Evaluation

Sekiya Ogino, Kunio Wakasa and Masao Yamaki

(平成7年1月5日受付)

緒 言

歯科用ダイヤモンドポイントの実験的製法(砥粒の調査, 砥粒固定のためのメッキ浴の調査, 基材上への砥粒固定の実験)についてそれら製法に関する砥粒やメッキ浴条件などを明らかにした¹⁾。ダイヤモンドポイントの歯科的性質, 特に高速回転中の砥粒脱落, 研削効率, 表面性状やその被削面性状についての報告は少ないようである。そこで本研究では新たに研削ポイント開発を行うため, すでに報告した製法条件にもとづいて¹⁾ダイヤモンドポイントの実験的製作装置を試作し, 試作したダイヤモンドポイントの研削性を調べることにした。

材料ならびに方法

1. 回転式砥粒電着器の試作

本研究の第1報(砥粒の調査と基材への固定法について)にもとづいて¹⁾, 図1に示す構造上の特徴をもつ砥粒電着器を試作した。

本装置は基材をメッキ浴中で回転しながら通電できる基材回転保持部と砥粒を少量ずつ基材の上方から注ぐためのミニベルトフィーダーを主構成要素とする。本装置は基材の回転保持具を本体から着脱可能とし, 基材の洗浄, 活性化ニッケルメッキおよび基材先端部への砥粒電着の際には本体から分離して用いることができる。

2. 砥粒電着方法

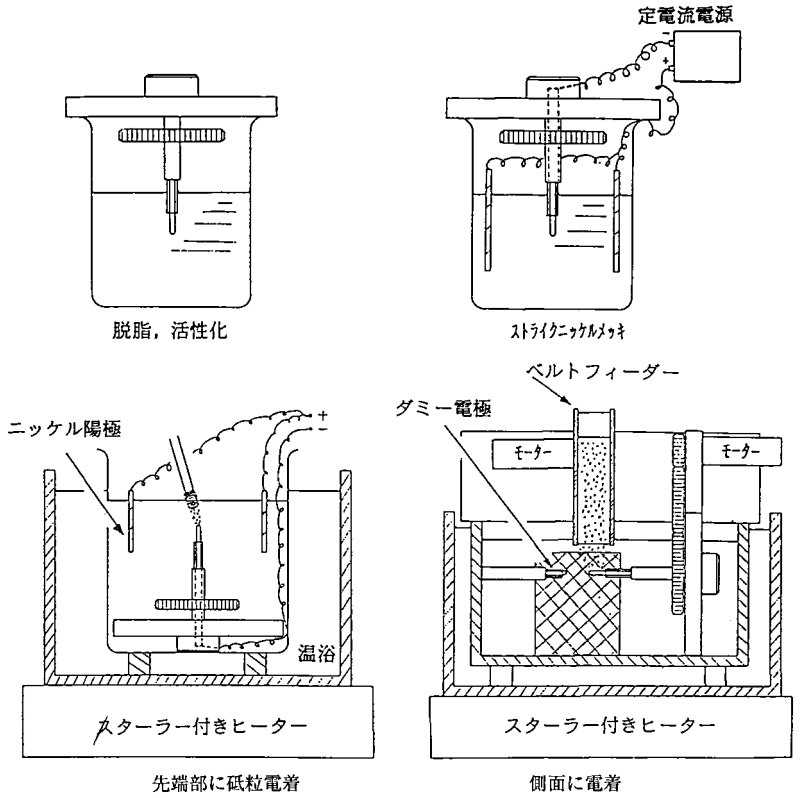
図2の手順に従ってステンレス鋼(SUS 201)基材に砥粒を電着した。その基材寸法は直径1.6 mm, 長さ20 mmである。電着部が端部より7 mmとなるようにマスキングする。ニッケルメッキによって砥粒を固定した後, デンスコ社のダイヤモンドポイントと同一製法によってニッケルメッキの上にクロムメッキを行うこととする。その理由はニッケルよりクロムのほうが硬度が高く研削時に固定層が傷つきにくく, 研削粉の排除を容易にするためである。

3. 砥粒の種類

第1報において¹⁾, 電着ダイヤモンドの形状は鋭利な場合と比較的丸みを帯びた場合の2つのものがあることを明らかにした。そこで本研究では天然及び人造ダイヤモンド以外の砥粒に関して検討することとした。その使用した砥粒並びにそれらの特性は表1に示す。

4. クロムメッキ方法

クロムメッキ浴を選定するため, デンスコ社のポイントの表層は, 第1報で明らかにしたように¹⁾, クロムメッキの層とした。クロムメッキは電流効率とつきまわりが悪いことが知られているので²⁾, 比較的つきまわりと電流効率が良いといわれている「ケイフッ化ソーダ添加浴」を用いることとした。このメッキ浴の組成は表2に示す。クロムメッキの電流効率を測定するため, 棒状基材(SUS 201)のクロムメッキ条件は次のように行った。前処理として, トリクロロエタンで脱脂し, さらにエースクリーン(奥野製薬)にて脱



(脱脂, 活性化, ストライクニッケルメッキ, 先端部の砥粒電着は電着器の回転部を外して行う)

図1 電着装置

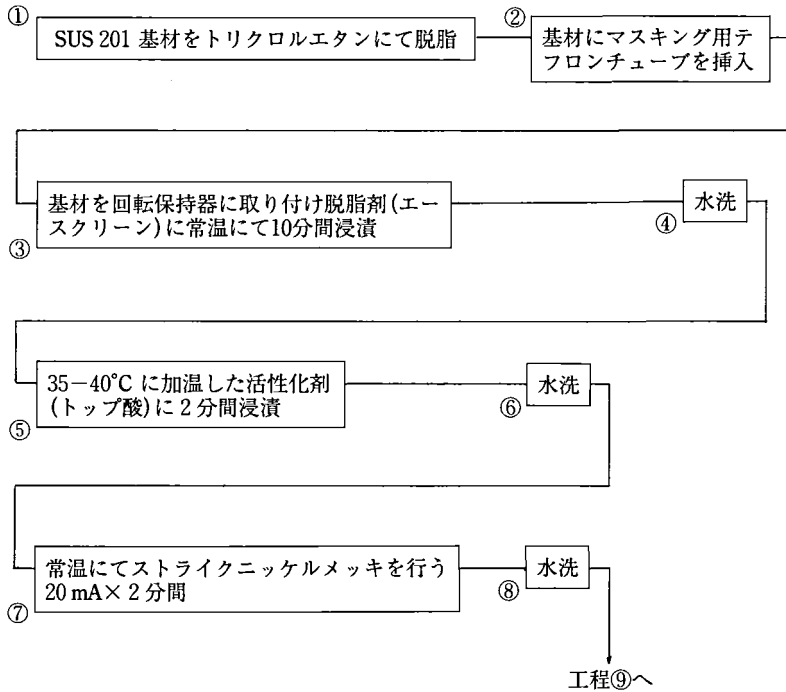


図2-a 砥粒電着方法

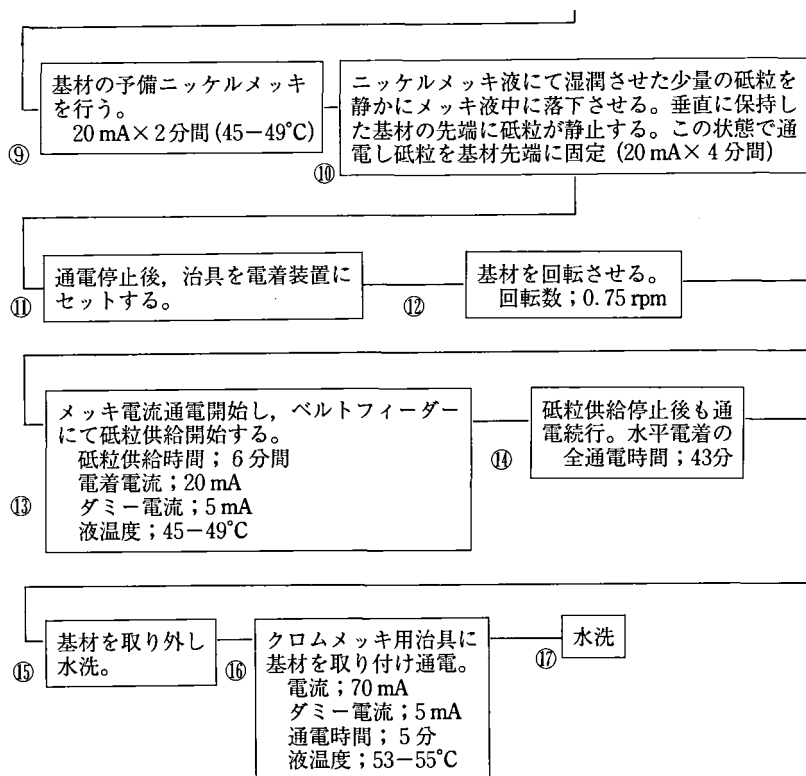


図2-b 砥粒電着方法

表1 各種砥粒の特性

特性	砥粒	ボロンカーバイド B ₄ C	窒化珪素 Si ₃ N ₄	立方晶窒化ボロン Cubic BN	ダイヤモンド
ヌーブ硬さ (kgf/mm ²)		2800 ⁴⁾	2400 ~2800 ⁴⁾	4500 ~4800 ⁵⁾	7000 ⁶⁾
圧縮強さ (kgf/mm ²)		180 ~290 ⁴⁾	50 ~80 ⁴⁾	500 ⁵⁾	900 ⁶⁾

表2 クロムメッキ浴

無水クロム酸 (CrO ₃)	250 g/L	浴温度; 53-55°C
ケイフ化ナトリウム (Na ₂ SiF ₆)	5 g/L	陽極材質; 鉛
硫酸 (H ₂ SO ₄)	1.5 g/L	電流密度; 270 mA/cm ²

脂後、流水にて洗浄した。被メッキ部は基材先端 7 mm とする。そのほかの部分はテフロンチューブにてマスキングをした。電気量は 70 mA × 15分 として、メッキ浴温度は 53°C であり、メッキ前後の基材直径を測定してメッキ厚さを算定し、その理論値から電流効率を算定するものとする。

5. 砥粒の供給方法

メッキ浴中にある基材上に砥粒を静置させるため、砥粒の供給方法は重要であると思われる。そこでの、砥粒の供給方法は予備実験の結果から、各供給方法を表3に示した。その予備実験結果にもとづいて、ベルトフィーダーによる方法を用いることとする。

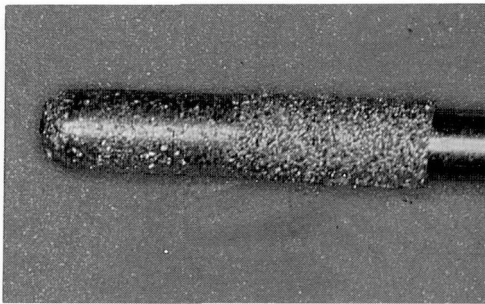
6. 固定用メッキ浴の決定

第1報¹⁾のように、砥粒の固定用メッキ液はスルファミンニッケルと光沢硫酸ニッケルとを試みた。まず、はじめに、回転電着器を用いてスルファミンニッケルメッキ浴及び光沢硫酸ニッケルメッキ浴中でダイヤモンド砥粒を基材に固定しポイントを作成した。次に、これらのポイントをエアベアリングハンドピー

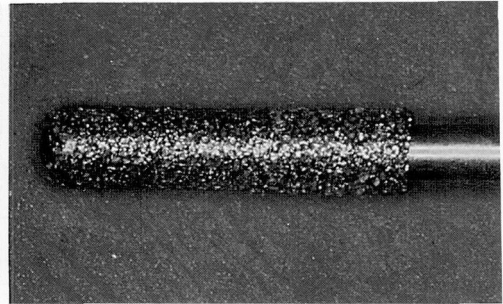
表3 砥粒の供給方法

方 法	特 徴
バイブレーションフィーダー	湿潤粉体の供給が不可能。
スラリー状態にして供給	スラリーの流れにより砥粒が押し流され基材上に固定できない。
ベルトフィーダーによる供給	摩耗材の搬送にも有利である。又、湿潤状態の粒子でも供給が可能。微量の定量供給が比較的困難。

スに装着して荷重 50 g で押しつけ Co-Cr 合金を 60 秒間研削したところ、図 3 に示したように、スルファミンニッケルメッキの場合、メッキ層そのものが摩耗した。その理由はスルファミンメッキ層の硬さが 190 (Hv) と低く、砥粒固着強度が著しく弱いためである¹⁾。従って、光沢硫酸ニッケルメッキを砥粒の固定に用いた。



スルファミンニッケルメッキ



光沢硫酸ニッケルメッキ

(スルファミンニッケルメッキではメッキ層そのものが摩耗している)

図3 固定用メッキ浴が砥粒固着状態に及ぼす影響

7. 砥粒の決定

表1の砥粒を回転電着装置で電着して研削性能を調べた結果をみると、表4及び図4に示したように、ダイヤモンド以外の砥粒では満足な結果は得られなかった。そこで、砥粒は、人造及び天然ダイヤモンドのみを使うことに決定した。

8. 基材の形状

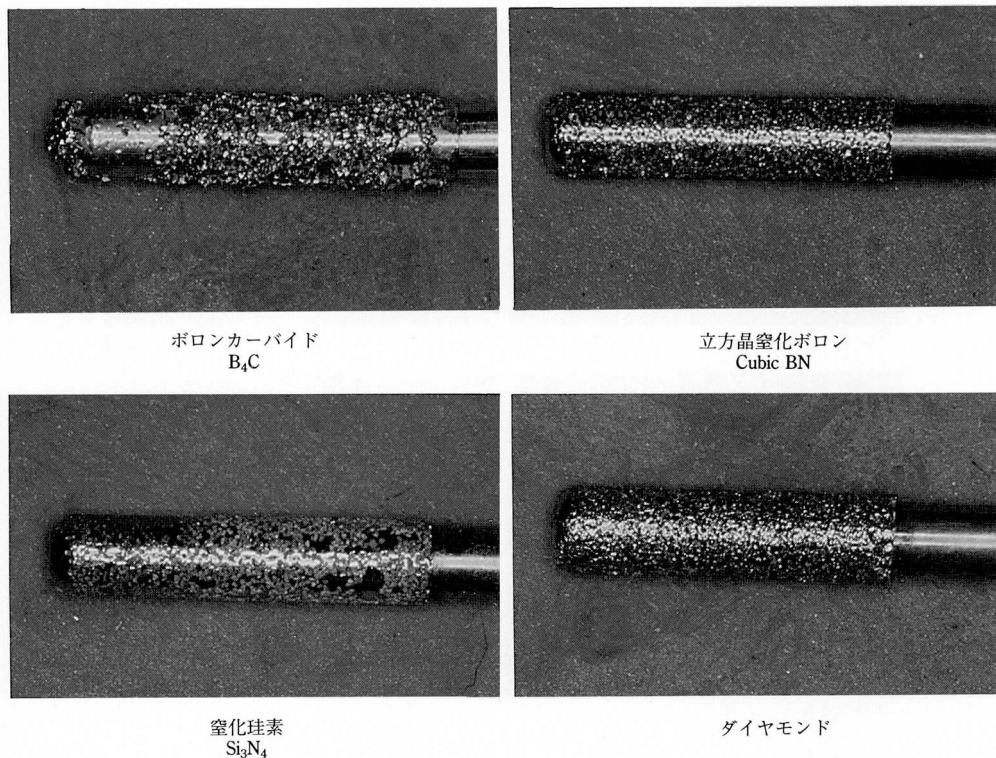
現在実用されているダイヤモンドポイントには種々の形状がある³⁾。本研究では、単純な柱状のものを主体とし、そのほかには切り粉の除去が向上することを期待して、スリットを入れたものや切れ刃の突出した部分を造ることを意図して基材をランダムにエッチング処理したものも試作した(図5)。

9. ダイヤモンドの電着分布方法

基材へのダイヤモンド電着は次のような方法を用いた。方法1。ダイヤモンドの粒度は一種類のみを電着するため、ダイヤモンドの分布を高くできる可能性は

表4 砥粒の種類が固着状態に及ぼす影響

砥 粒	研削結果	原 因
ボロンカーバイド B_4C	砥粒脱落が甚だしい。	砥粒が導電性を有するので電気力線が突起物、即ち砥粒に集中し、ニッケルの析出が砥粒に集中する。従って基材への析出が少なく十分な砥粒の固着力が得られない。
窒化珪素 Si_3N_4	基材への付着効率が極端に悪い。砥粒自身が破碎。	付着効率が悪いのは Si_3N_4 が金属に濡れにくい特性を有するためかもしれない。砥粒の破碎はより高強度の β - Si_3N_4 が少なく α - Si_3N_4 が多いためと推定される。
立方晶窒化ボロン Cubic BN	砥粒自身が破碎。	砥粒の靱性が不足。
ダイヤモンド	異常無し。	



ボロンカーバイド
B₄C

立方晶窒化ボロン
Cubic BN

窒化珪素
Si₃N₄

ダイヤモンド

図4 砥粒の種類が固着状態に及ぼす影響

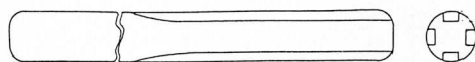


図5 スリット入り基材

低い、切り粉の排除はかえって効率的に行われる可能性がある。方法2。基材へのダイヤモンド供給を2回行うためダイヤモンド層を厚くして耐久性の向上を期待したものである。方法3。異なる粒度分布のダイ

表5 研削性能評価方法

項目	方法
研削速度	エアーベアリングハンドピース (AT-C) 使用。 無負荷時回転数；45万 rpm 荷重；50 g 注水量；40 mL/min 研削時間；30秒間 繰り返し回数；18～20回 被研削材；メラミン (直径47 mm, 厚さ 2 mm) ホウ珪酸ガラス (直径 45 mm, 厚さ 1.8 mm)
被削部状態観察	メラミン切断面を SEM 観察 (50倍)
電着ダイヤモンドの分布密度、電着状態の観察	①SEM 写真 (100倍) において適当な長方形内の砥粒数を数え、SEM 写真の倍率から単位面積当たりの砥粒数 N (個/mm ²) に換算する。 ②SEM 写真においてメッキ面より突出している砥粒数を、メッキ内にはほとんど埋没している砥粒数で除し突出率 r とする。 ③有効切れ刃数を $N \times r$ により算出する。
研削時の回転数	レコードプレーヤーのカートリッジ (針は付けず) をタービンヘッド部に接着。出力を F-V 変換回路により電圧に変換し X-Y レコーダーにより記録。
ダイヤモンドポイントの電着部輪郭	投影器 (20倍) にて一本につき 3 方向 (120°等角) から投影図を作成、投影図をさらに 4 倍に拡大して比較。

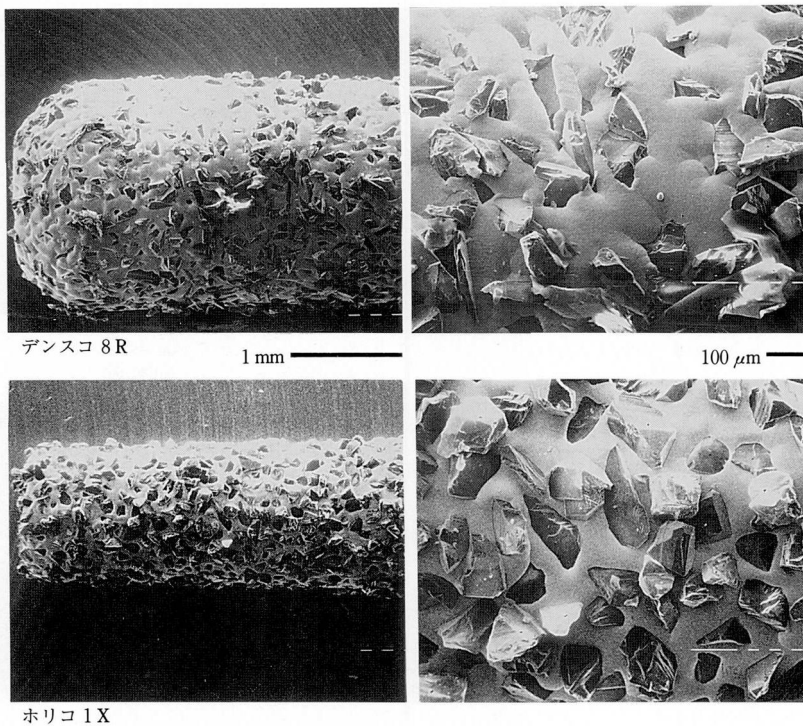
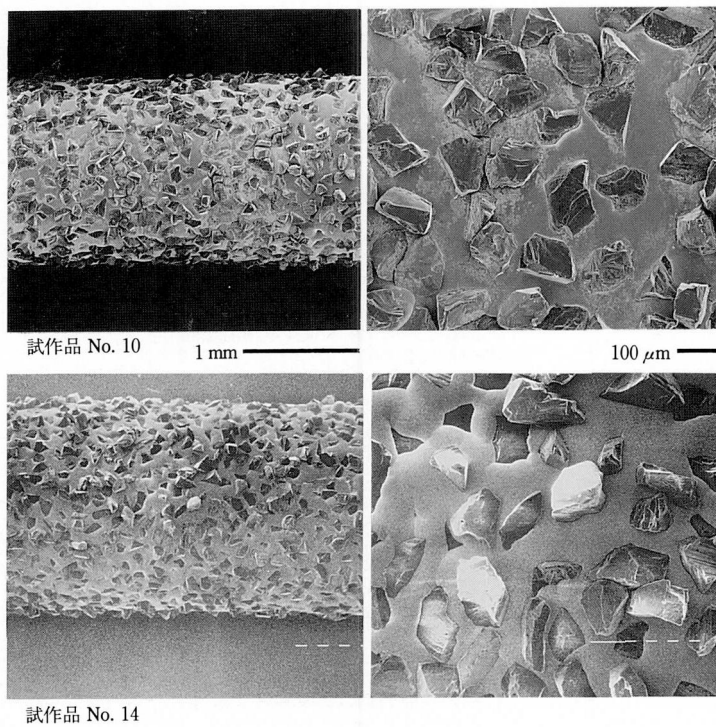


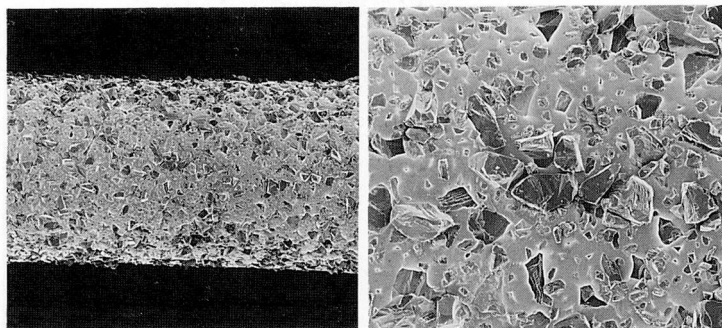
図6-a 各種ポイントの表面状態



(レギュラー #140/170のみ、ダイヤを2回に分けて供給)

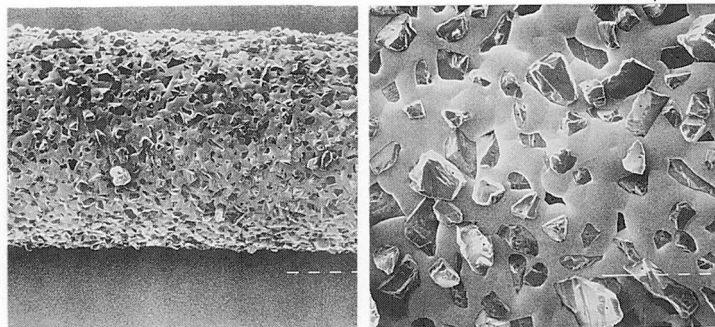
図6-b 各種ポイントの表面状態

(レギュラー#140/170+微粒#325)



試作品 No. 6

1 mm

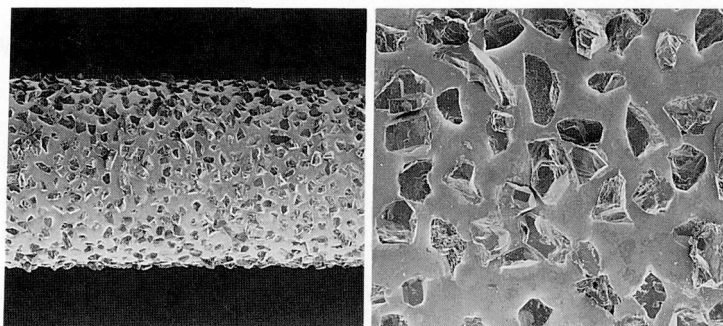
100 μ m

試作品 No. 26

(レギュラー#140/170+微粒#270)

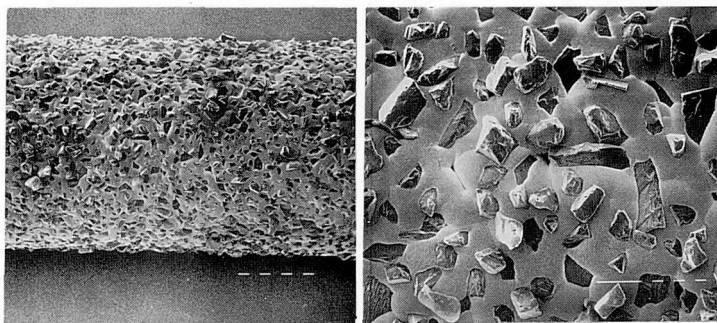
図6-c 各種ポイントの表面状態

(人造ダイヤレギュラー#140/170)



試作品 No. 9

1 mm

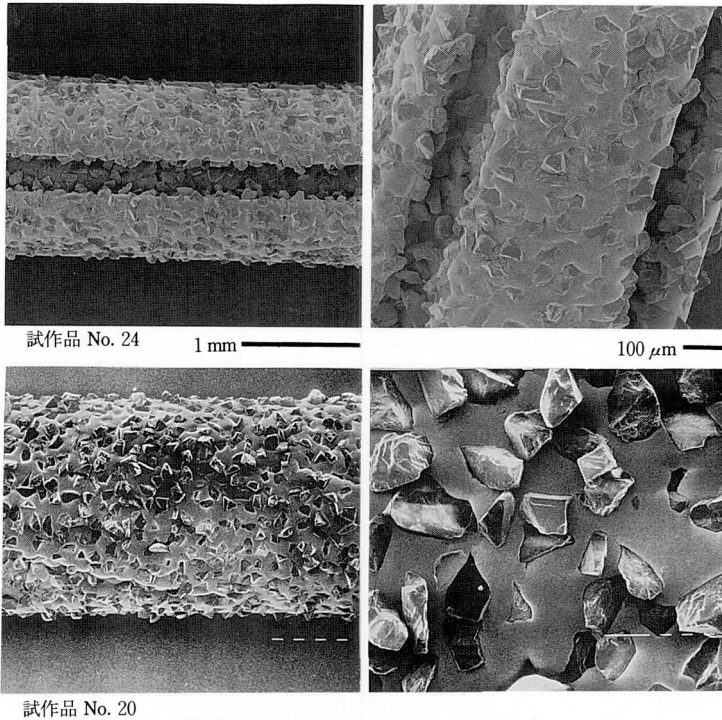
100 μ m

試作品 No. 18

(レギュラー#140/170+微粒#270, レギュラーサイズの本メッキ量多い)

図6-d 各種ポイントの表面状態

(基材に4スリット入り, レギュラーサイズ#140/170のみ)



(基材をエッチング, レギュラー#140/170)

図6-e 各種ポイントの表面状態

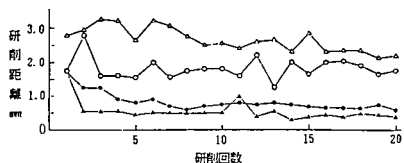
ダイヤモンドを層状に電着するので、ダイヤモンドの分布密度を高くして有効切れ刃数を多くし、耐久性と研削効率を向上させることができる。方法4。ダイヤモンドを初期電着固定した後のメッキ層の厚みを変えるため、耐久性の向上を期待することができる。

10. 研削性能評価方法

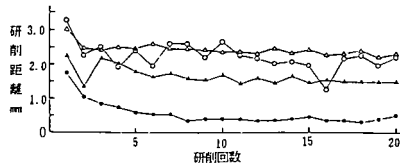
研削性能評価方法は表5に示す。研削速度を決めるため、スライドベアリング上のテーブルにメラミン樹脂または板ガラスを固定し、分銅にて50gの一定荷重をかけた状態でエアベアリングハンドピースを用いて注水下で20回繰り返して研削し、研削距離として評価した。メラミン樹脂を研削した後、板ガラスの研削には切れ刃の異なる部位がガラスに当たるように位置決めして行った。電着されたダイヤモンドはメッキ層から突出しているものとメッキ層に埋没しているものがあり、埋没しているダイヤモンドは研削には参与しない。そこでSEM写真上にトレーシングペーパーを置いてメッキ層から突出しているダイヤモンド数を数え、単位面積当たりの突出ダイヤモンド数に換算して、これをダイヤモンドポイントの有効切れ刃数とした。

結 果

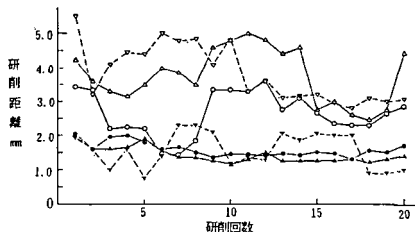
試作したダイヤモンドポイントのSEM写真の代表例(図6)とメラミン板とガラス板の20回繰り返し研削距離(図7)および電着方法と研削距離の関係(図8)を示す。デンスコ、ホリコ、試作ダイヤモンドポイントのすべてがメラミン、ガラスの研削距離にばらつきを生じ、特にメラミンの場合に著しいことがわかった。表層にクロムメッキを有しないホリコは、クロムメッキを施したデンスコより研削距離のばらつきが小さいものもあり、表層にクロムメッキを施すことが研削効率の安定性を改善するとは必ずしもいえなかった。粗粒タイプのデンスコ(C63C)はレギュラータイプのデンスコ(8R)よりも砥粒サイズが約2倍大きく、砥粒分布密度も低いので、切り粉の排出が容易となり大きな研削速さを有すると予想される。しかし、メラミンに対してはレギュラーサイズのほうが優れているので、その反面、ガラスに対しては顕著なちがいを示した。天然ダイヤモンドを用いているので、試作品の研削速さはデンスコ並びにホリコのポイントに劣ることはなかった(図9, 10)。すなわち試作品の一部はメラミンに対してのみ、デンスコ並びにホリ



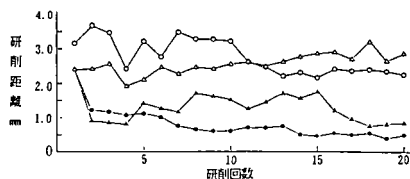
デンスコ 8R
○(No. 1), △(No. 2); メラミン研削
●(No. 1), ▲(No. 2); ガラス研削



ホリコ 8Mr
○(No. 3), △(No. 4); メラミン研削
●(No. 3), ▲(No. 4); ガラス研削

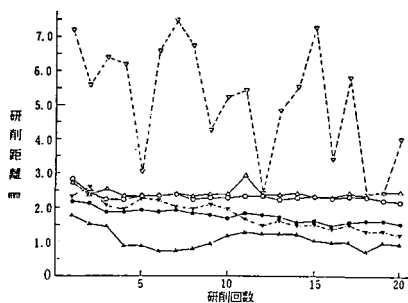


試作品 (レギュラー#140/170のみ)
○(No. 12), △(No. 11); メラミン研削
▽(No. 14)
●(No. 12), ▲(No. 11); ガラス研削
▼(No. 14)

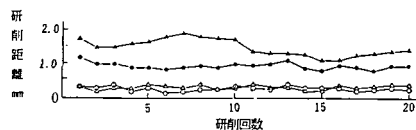


試作品 (レギュラー#140/170+微粒#325)
○(No. 5), △(No. 6); メラミン研削
●(No. 5), ▲(No. 6); ガラス研削

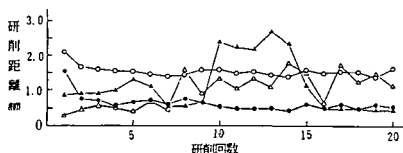
図7-a 繰り返し研削距離



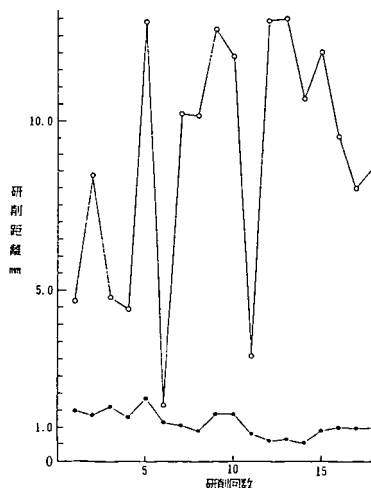
試作品 (レギュラー#140/170+微粒#270)
○(No. 15), △(No. 16); メラミン研削
▽(No. 26)
●(No. 15), ▲(No. 16); ガラス研削
▼(No. 26)



試作品 (人造ダイヤモンドレギュラー#140/170)
○(No. 8), △(No. 9); メラミン研削
●(No. 8), ▲(No. 9); ガラス研削



デンスコ (粗粒タイプ C63C)
○(No. 21), △(No. 22); メラミン研削
●(No. 21), ▲(No. 22); ガラス研削



試作品 (エッチング基材)
○(No. 20); メラミン研削
●(No. 20); ガラス研削

図7-b 繰り返し研削距離

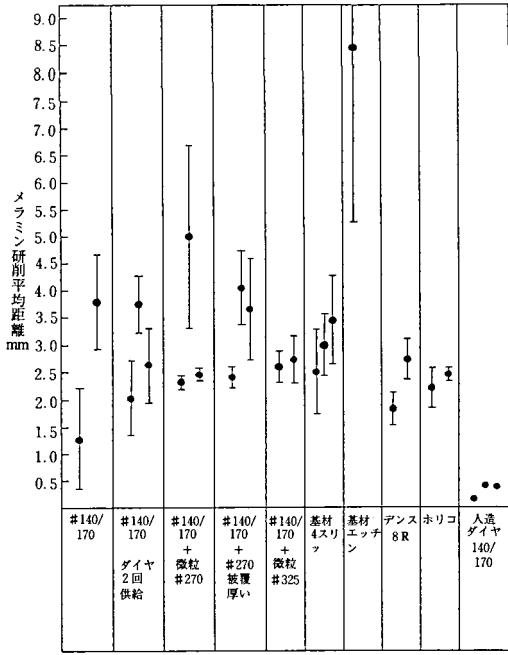


図8 電着方法がメラミン繰り返し研削(20回)に及ぼす影響

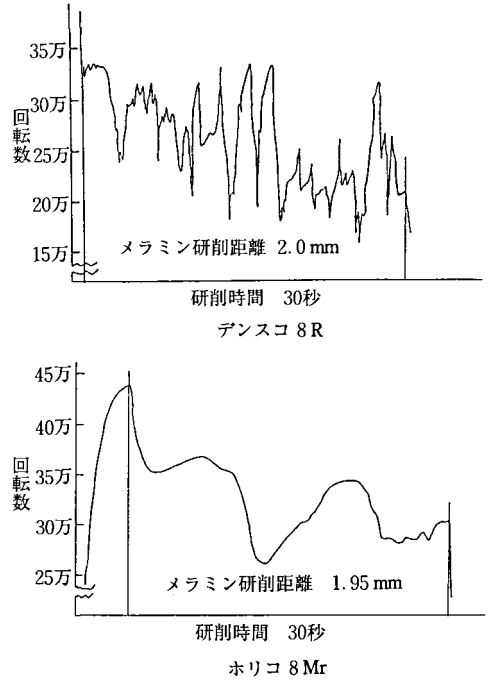


図10-a メラミン研削時の回転数変化

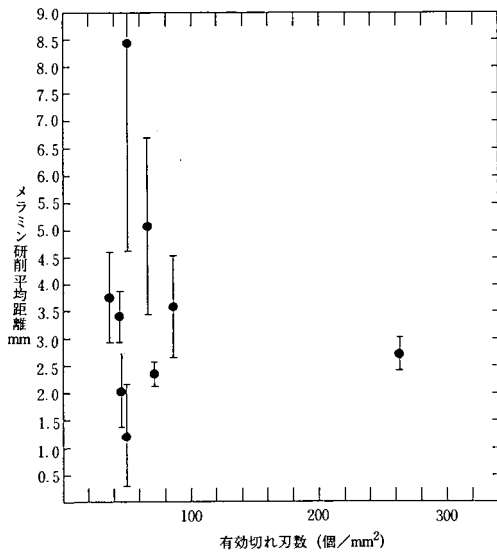


図9 有効切れ刃数がメラミン繰り返し研削(20回)に及ぼす影響

こよりも2~3倍の研削速さと変動を有していた。しかし、ガラスに対してはこの現象は顕著でなかった。SEM 観察による研削面の粗さはデンスコ並びにホリコと比べて有意差はなかった。人造ダイヤモンドを使用したポイントのメラミンに対する研削速さは、天然

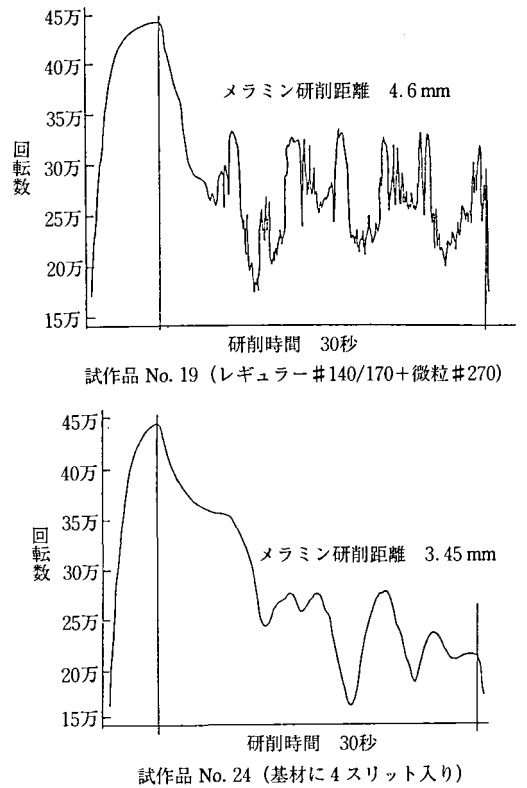
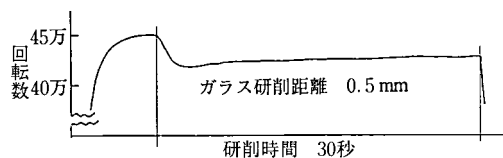
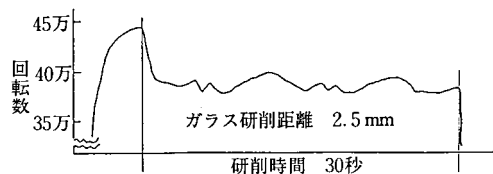


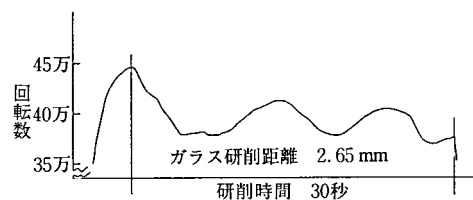
図10-b メラミン研削時の回転数変化



試作品 No. 24 (基材に4スリット入り)



試作品 No. 25 (基材に4スリット入り)



試作品 No. 26 (レギュラーサイズ#140/170+微粒#270)

図10-c ガラス研削時の回転数変化

ダイヤモンドの場合の20%であるので極端に悪くならない。ガラスに対しては有意差はなく、むしろ安定していた。#270もしくは#325の微粒天然ダイヤモンドを層状に混在電着させた場合、#140/170の天然ダイヤモンドのみを電着したものよりもメラミンに対する研削距離の最低値が大きかった。しかし、ガラスに対しては有意差は生じなかった。基材に縦状のスリットを形成したものはメラミン、ガラスの両方に対して大きな研削距離とばらつきを示した。

図11はデンスコ、ホリコ、試作品共に一周を120度ずつずらした外形線の観察結果を示す。その定量的評価方法については表面粗さの測定に準じた方法などを考案する必要があると思われる。

図12はメラミン研削面のSEM写真を示す。図10の研削中の回転数と比較してみると、メラミンの場合、なだらかで大きな変動を示すものと絶えず著しい変動を示すものがあつた。ホリコは前者のタイプ、デンスコは後者のタイプであり、試作品では両方のタイプがあつた。ガラスの研削における回転数変化はメラミンの場合と顕著に異なり、回転数の変動は少なかった。ダイヤモンド粒度が#140/170の標準サイズに#325の微粒を混在させたものは著しく高い有効切れ刃数を示したがメラミンの研削速度に顕著なものではなかった。

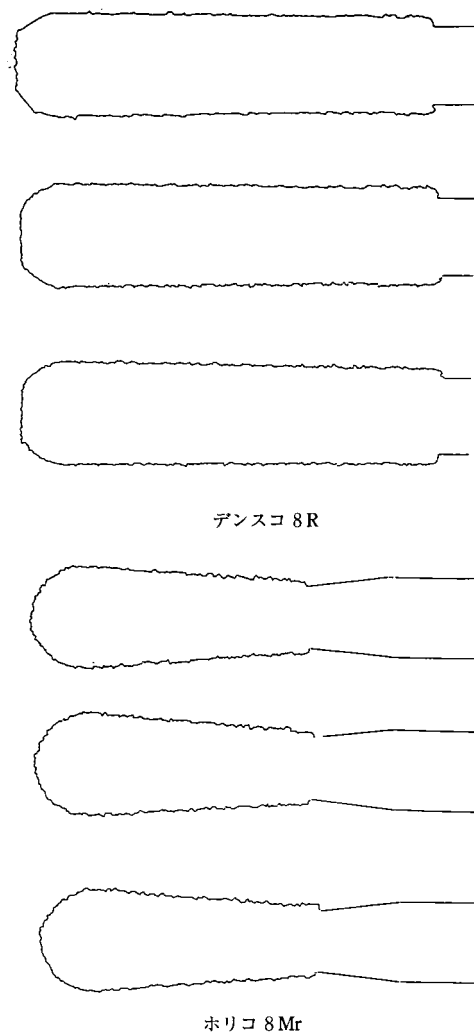


図11-a 輪郭投影図の一例 (×20)

考 察

本研究ではダイヤモンドポイントの実験的製法として、ダイヤモンド試作のための装置を考案することを行った。メラミンを市販及び試作ダイヤモンドポイントで研削した時、それら研削距離や回転数に著しいばらつきを生じており、ガラスはそれほどのばらつきを生じないことを明らかにした(図7-9)。その理由はガラスが脆性材料であるため砥粒に固着しにくく目詰まりしないが、反面、メラミンは砥粒に固着し易く、耐熱性も低いので目詰まりし易く研削距離、回転数共に大きな変動を示すからである。一方、研削面のSEM写真をみると、むしろたような痕跡があることから、砥粒の目詰まりによる研削力の低下が示唆された。すなわち、研削距離そのものがガラスでは低かつ

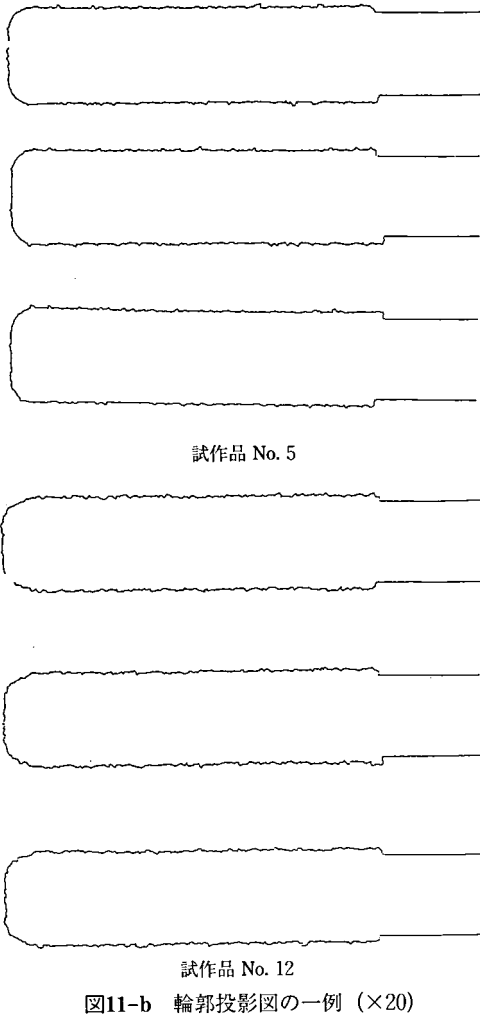


図11-b 輪郭投影図の一例 (×20)

たのは硬さの違いによるものと推測される。研削荷重を 50 g としたがガラスにとっては低過ぎる可能性もある。

クロムメッキの電流効率の計算を、次のように求めた。

テストバーの直径メッキ前；1.595 mm
メッキ後；1.605 mm

実測メッキ皮膜厚さ；

$$(1.605 - 1.595) / 2 = 0.005 \text{ mm}$$

理論析出重量；

$$= 0.07 \text{ A} \times 15 \text{ 分} \times [51.996 (\text{Cr 原子量})] / 6 \\ (\text{Cr の原子価}) \times 60 / 96500 = 0.005658 \text{ g.}$$

理論メッキ厚さを t mm, 基材の直径を d mm, Cr の比重を 7.188 とすると,

$$W_{th} / 7.188 \times 1000 =$$

$$3.14 / 4 \times \{ (d + 2t)^2 - d^2 \} \times 7 + 3.14 / 4 \times d^2 \times t$$

となる。従って、上式に $W_{th} = 0.005658$, $d = 1.595$ を代入して t を求めると t は 0.021 mm となる。理論メッキ厚さ t_{th} は 0.021 mm となり、電流効率は $(0.005 / 0.021) \times 100 = 24\%$ となった。ニッケルメッキの場合と異なり著しく電流効率が低くなる。クロムメッキでは、陽極での酸素ガス、陰極での水素ガス発生に電氣量が消費されるので、この程度の効率しか得られないことがわかる。次に、天然ダイヤモンドと人造ダイヤモンドとの研削速度の差について検討することとする (図10-a, 図10-b, 図10-c)。メラミンの研削距離は人造ダイヤモンドの場合には著しく低かった。これは人造ダイヤモンドの形状が鈍角を有した多面体であり鋭利な形状を有した天然ダイヤモンドより、切り込み抵抗が大きく、研削距離が低下したものである。ガラスの研削においては人造ダイヤモンドのほうが安定した研削力を示す理由は、メラミンよりも硬度の高いガラスに対しては、切れ刃の破碎が鈍角多面体の人造ダイヤモンドでは生じにくいためと考えられる。また、有効切れ刃数を考えると、現状の砥粒固着方法は、刃物の性能を決定する各種因子 (例えばすくい角) をコントロールできるレベルには達していない。有効切れ刃数は単にメッキ層から突き出ている砥粒の数であるので、研削速度に対する関連性を見いだせないと考えられる。

混合砥粒電着の効果について (図10-a, 図10-b, 図10-c), 粒度の影響を明らかにする。粒度 #140/170 のみの天然ダイヤモンドを電着させたものよりも、粒度 #270 または #325 のものを混合電着した場合がメラミンの研削距離は大きかった。その理由は混合タイプでは、有効切れ刃数が単独砥粒の場合よりも多いにも拘らず外形線図に見られるように、砥粒の突き出し量が混合タイプのほうが少ないためである。目詰まりし易いメラミンに対して効果があった一方、ガラスに対して顕著な差を生じなかったのは研削荷重 50 g は小さすぎるためであった。

基材に 4 スリットを設けたバーで著しい研削距離を示した場合、ハンドピース回転数の変化は、デンスコの平均的な研削距離を示した場合の回転変動と類似した緩やかなものである。振動は生じていたとしても、切り粉の排出はスムーズに行われたと思われる (図11-a, 図11-b)。表層のクロムメッキに関して (図12-a, 図12-b), それら研削性能を見ると、表面層にクロムメッキが施されていることが直接研削性能に影響している度合いは低いと考えられる。しかし、ニッケ

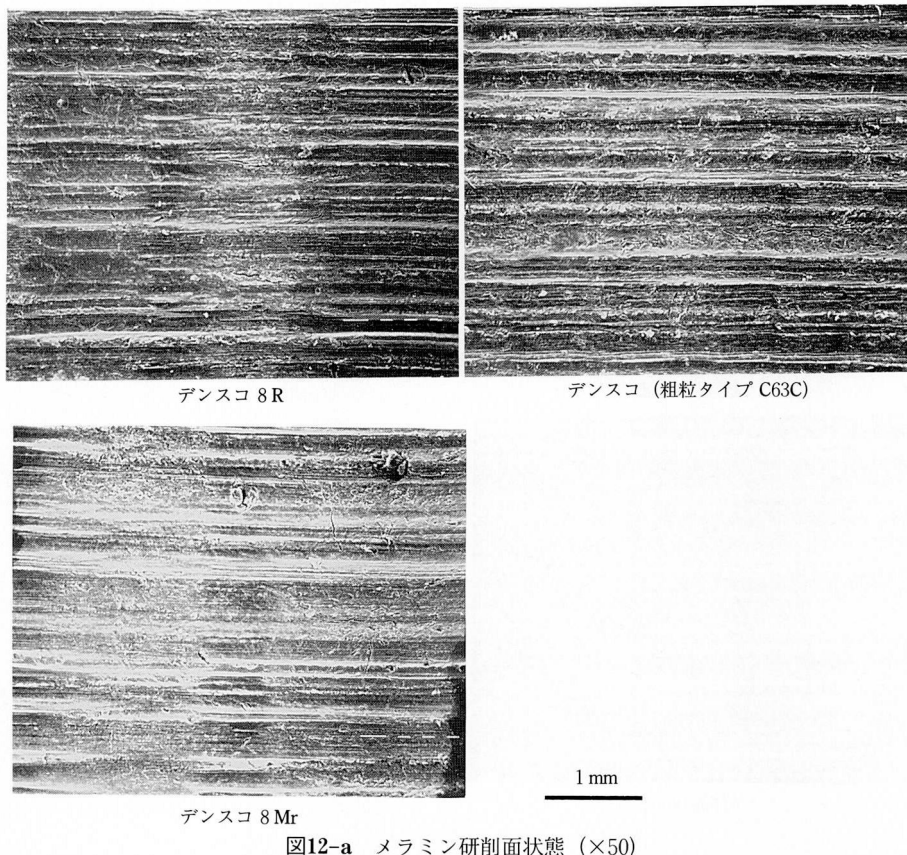


図12-a メラミン研削面状態 (×50)

ルアレルギー患者に対する影響の有無は検討する必要があると思われる。

研削速度を研削距離によって比較しているのが、厳密に言えば研削粉の容積によって表現することが望まれる⁷⁻⁹⁾。研削速度の大きくなばらつきの原因は砥粒の不均一付着または目詰まりに起因した振動によるものであると思われる。従って、それらの速度解析について、振動状態を的確に把握できるような理論式を創ることを試みる予定である。

結 論

ダイヤモンドポイントの実験的製法に関する研究の第2報として、以下の結論を得た。

(1) 回転式ダイヤモンドポイント試作装置はダイヤモンド砥粒の固定を容易に行うことができた。

(2) 砥粒を基材へ固定するため、そのメッキ浴は硬度の低いスルファミンニッケルより、硬度の高い光沢硫酸ニッケルが適していた。

(3) デンスコ、ホリコ及び試作ダイヤモンドポイントがすべてが、メラミンとガラスの研削距離の値の大小にばらつきがみられた。

(4) 表層にクロムメッキを施すことは研削効率の安定性を改善するとは必ずしもいえないことが明らかになった。

(5) 天然ダイヤモンドを用いた場合、試作品の研削速さがデンスコ並びにホリコのポイントに比べて劣ることはなかった。

(6) 試作ダイヤモンドポイントではメラミンに対してのみ、デンスコ及びホリコよりも大きな研削速さの変動を示した。一方、ガラスに対してはこのことは顕著でなかった。また、SEM観察による研削面の粗さをみると、デンスコとホリコの間には有意差はなかった。

(7) 人造ダイヤモンドを使用したポイントのメラミンに対する研削速さは、天然ダイヤモンドの場合の20%と極端に悪くなり、ガラスに対しては有意差はなく、むしろ安定していた。

(8) #270や#325の微粒天然ダイヤモンドを層状に混在電着させた場合、#140/170の天然ダイヤモンドのみを電着したものよりもメラミンに対する研削距離の最低値が大きかった。しかし、ガラスに対しては有意差は生じなかった。

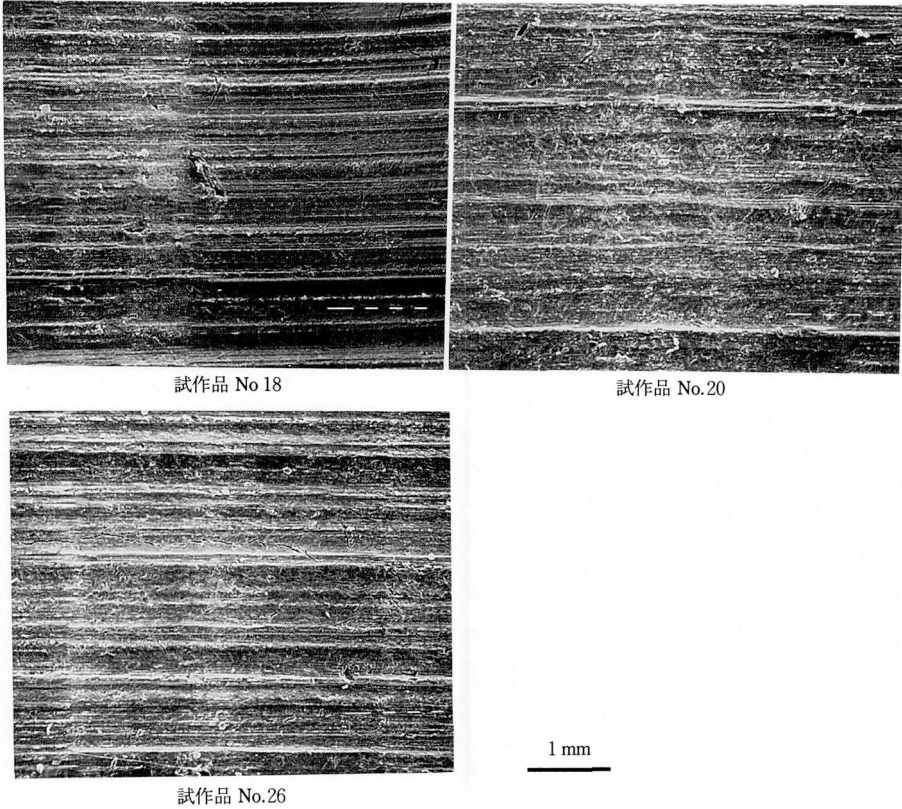


図12-b メラミン研削面状態 (×50)

(9) 基材に縦状のスリットを形成したものはメラミン、ガラスの両方に対して大きな研削距離とばらつきを示した。

(10) デンスコ、ホリコ及び試作ダイヤモンドポイント共に一周を120度ずつずらした輪郭線を観察したところ、それらは若干のばらつきを示していた。その評価方法については、表面粗さの測定に準じた方法を用いることが必要であろう。

以上の結論から、ダイヤモンドポイントを本研究で提案した実験的製法を用いて試作した結果、市販品と同等、あるいはそれ以上の特性を与えることが明らかになった。今後、さらにそれらの研削性を含めた総合評価のための方法を標準化するため、試作ダイヤモンドポイントを歯科的に応用する予定である。

謝 辞

本研究を行うに当たり、ご協力頂いた本学歯科理工学講座の各位に感謝するとともに、原稿などの整理に協力していただいた事務官袖下民江さんに感謝します。

参 考 文 献

- 1) 荻野碩哉, 山木昌雄: ダイヤモンドポイントの実験的製法に関する研究 (第1報) 砥粒の調査と基材への固定法について, 広大歯誌, 25 (1), 217-227, 1993.
- 2) 友野理平: めっきマニュアル, オーム社, 1971.
- 3) 富岡健太郎, 中村悦三, 松村篤良: 歯科用高速切削工具 1-ダイヤモンドポイント, 医歯薬出版, p49-59, 1979.
- 4) ダイヤモンド工業協会編: ダイヤモンド工具マニュアル, 工業調査会, p32-33, 1979.
- 5) 産業開発調査会: 機能材・セラミックス・希土類総覧, (株)産業情報, p319-522, 1987.
- 6) 材料大事典編集委員会: 材料大事典, 産業調査会, p350-351, 1984.
- 7) 宮入裕夫, 松村篤良: 歯科用ハンドピースの性能試験に関する一考察, 歯理工誌, 19 (48), 227-232, 1978.
- 8) 宮入裕夫, 永井正洋, 福田秀昭, 松村篤良: 歯科用エアータービンハンドピースの性能に関する研究 (Ⅲ) エアータービンハンドピースのトルクの測定, 歯理工誌, 21 (53), 41-47, 1980.
- 9) 宮入裕夫, 永井正洋, 小林雅行: ハンドピースの種類と回転性能, DE (81), 14-27, 1987.