

## 十二回連載 ワンポイントレッスン 第三回

# 現場で使える 研磨加工の理論と計測手法



河西敏雄((株)河西研磨技術特別研究室), 宇根篤暢(防衛大学校)

### 1. 軟質工具の変形と分布圧力

加工量や工具摩耗量が速度、圧力、時間に比例する研磨条件の下で、圧力分布の勾配を利用した平行度修正研磨について理論的に扱ってきた。ここではピッチポリッシングにおいて、理論と実験がよく対応することを示すことができた。

続いて工作物や工具面が単純な平面であることに限定することなく、凹凸面のある研磨について扱う。工作物は変形することがない剛体であるとする。付加した荷重は、両者を擦り合わせる研磨において、それぞれの凹凸形状に沿って工具側のみを変形させるように働くことは十分に予想できると思う。場所によって工具の変形量に違いが生じるので、そこでは異なった圧力分布を示すことになる。まず、このような工具の変形と圧力の関係を考えてみる。

いま工具が完全弾性体であるとするならば、応力  $\sigma$  ( $= P/S$ ) とひずみ  $\varepsilon$  ( $= \delta/L$ ) の関係はヤング率  $E1$  を用いて一般に式(3.1)のように示すことができる。

$$\sigma = E1 \cdot \varepsilon \quad (3.1)$$

しかし、圧力分布に関係するポリッシング用軟質工具は種類が多く、単純な弾性体とは限らない。代表的なピッチ工具は瞬間弾性、遅延弾性、塑性流動の挙動を示す粘弾性体であり、その表面には網目層が形成されている。通常  $\phi 1 \text{ mm}$  の糸の  $2 \sim 4 \text{ mm}$  の目をもつ網を用いた基盤目状である。一般には、網目溝は研磨剤の供給／待避の場になると理解されている。しかし、もっと重要なことは、網目で分離されたピッチはそれぞれ独立していて、その溝が弾

塑性変形の際の逃げ場になっていることである。工作物にあたかも密着したようなピッチ特有の「なじみ現象」を維持して研磨できるのは、これが寄与しているからである。そのうえ研磨現場で目にするピッチ表層の砥粒埋め込みや昇温も考えていかなければならない。このような研磨という特殊な動的条件下では、研磨中のピッチの力学的性質として静的条件下の式(3.1)を当てはめることは不合理であると言える。

ピッチの分類には、古くから針入度試験が適用されてきた。一見して硬さ測定に似ていて弾塑性体の力学的性質を求める方法としては定評がある。今から 50 年ほど前にピッチポリッシングにおける加工量や加工精度とこの針入度の関係を対応させるために、針入形レオメータの製作・検討が行われた。しかし実際のところそれらの対応が難しく、断念して単純なピッチの硬さの分類用に提供するだけにとどまってきたことがある。

一般に普及しているポリウレタンパッドなどは、摩耗が小さい表皮層、軟質な発泡層、基材、接着剤層とそれぞれ性質の異なる材料の積層構造のことが多い。ここでも研磨時の砥粒の埋め込みや含水などで性質が大きく変化すること、研磨中や研磨途次に工具面のドレッシングやブラッシング処理が導入されることを考慮すると、簡単に式(3.1)で求めた  $E1$  を用いることはできない。しかしながら弾性変形による反発力が圧力分布になることには筆者らも異論はない。

ここでは圧力分布を考慮した形状変化の理論

的扱いのひとつとして、異種材料を同時研磨したときの加工量差や段差の発生と圧力分布について取り上げることにする。

## 2. 加工量差・段差発生に関する理論的扱い

多種材料で構成された工作物の同時研磨において材料間で段差や凹凸が発生する問題は、磁気ヘッド摺動面、安価なガラスダミーで囲まれた高価な結晶の工作物、結晶方位が不一致の多結晶金属材料、ポア部分が弱いセラミックス面、イオン分散が不均一な光学ガラス面、デバイスウエハのめっき銅配線と層間絶縁膜などの加工現場において生じ、議論されてきた。そこには工具の弾性変形や圧力分布などが関係する。

いま、1～n の異種材料の同時平面研磨を行うことにする。加工量が研磨における速度、圧力、時間に比例することを前提にすれば、それぞれ比研磨量・圧力比は、 $\eta_{w1}, \eta_{w2}, \eta_{w3} \cdots \eta_{wi}, \eta_{wj} \cdots \eta_{wn}$  である。また研磨を十分に進めていくと異種材料間の加工量差や段差が一定値に落ち着く。そこから加工時間  $t$  後の各種材料の加工量は、 $h_1 = h_2 = h_3 \cdots h_i = h_j \cdots h_n = h$  と置ける。一般式として  $n$  番目の加工量は、

$$h_n = \eta_{wn} \cdot v \cdot p_n \cdot t = h \quad (3.2)$$

となる。同時研磨ということは、速度  $v$  と時間  $t$  の積の走行距離は全て一定であるから、比例定数  $\eta_w$  と圧力  $p$  の関係は、全ての  $n$  に対して

$$(\eta_{w1} \cdot p_1) = \cdots = (\eta_{wn} \cdot p_n) = \text{Const.} \quad (3.3)$$

である。したがって、任意の  $m$  番目と  $n$  番目の材料間では、

$$p_n = (\eta_{wm} / \eta_{wn}) \cdot p_m \quad (3.4)$$

となる。段差発生モデルを図 1 に示す。 $m$  番目と  $n$  番目の材料間の加工量差  $\delta_{n/m}$  と圧力差  $p_n - p_m$  との間には、

$$(\delta_{n/m}) = \zeta \cdot (p_n - p_m) \quad (3.5)$$

の関係がある。ここで、 $\zeta$  ( $\mu\text{m}/\text{Pa}$ ) は研磨という特殊条件下のポリッシングパッド(ポリシャ)の弾性変形定数ということになる。

異種材料を十分に同時研磨して加工量差あるいは段差が一定値になったときの比例定数  $\eta_w$ 、圧力分布  $p$ 、工具の弾性変形定数  $\zeta$  の関係を示した。

これらより異種材料間の加工量差あるいは段差の発生を小さくするには、①材料間の圧力分布差を小さくするように比例定数  $\eta_w$  の差が小さい異種材料を用いることである。②また、異種材料間で比例定数  $\eta_w$  に違いが生じないような加工条件、例えば切れ味のよい研磨砥粒、研磨液を用いる。③弾性変形定数  $\zeta$  が小さい硬めのポリッシングパッドを用いるなどが有効である。

以上の理論的扱いに対応する実証に関しては、次のシミュレーションに必要な各種パラメータの特性測定で触れることにする。

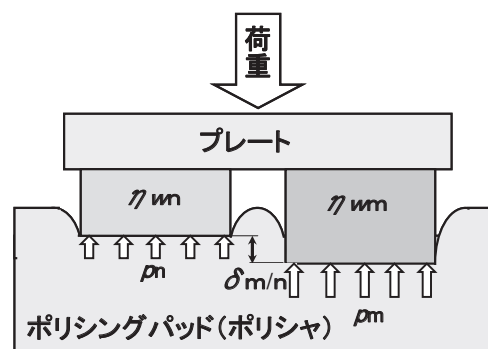


図 3.1 異種材料のポリッシングモデル