

十二回連載 ワンポイントレッスン 第一回

現場で使える 研磨加工の理論と計算手法



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. 連載を始めるにあたって

ラッピングやポリッシングは、古くから高品質な鏡面や高精度の形状を仕上げる研磨法として大切にされてきており、現在では最先端にあるオプトメカトロニクスや半導体の分野などで用いる高度デバイスの重要な生産技術のひとつに位置づけされている。

これらの研磨は、研磨剤を介在させて工作物と工具を擦り合わせることで進められる。工作物や工具の運動軌跡やそこに現れるさまざまな現象を理論的に説明し、理論式で表現する試みなどは、これまでに多くの諸先輩によってとり上げられてきている。切削や研削などと同様に、研磨についても理論解析の対象にすることは関係者にとってひとつの課題であった。とくに技能的要素が強い研磨では、技能の改善を進める一方でその技術化の必要性が指摘され、また企業における高度技能・技術者の高齢化による現役引退なども併せて考えると、この理論的扱いとその裏付けは大きな意味をもつと言える。

筆者らは微力ながらこれらの一助になることを念頭におき、従来の経験をもとに出版社の協力を得て「現場で使える研磨加工の理論と計算手法：宇根篤暢、河西敏雄：日刊工業新聞社、(2010)」を発刊した。

研磨理論に関する今回の連載は、この発刊本をもとに平面研磨を扱うものである。省略部や新たな加筆があることはお許しいただきたい。研磨の特徴、研磨運動や圧力

分布と平面研磨の関係など、ワンポイントレッスンとしてできるだけわかりやすく説明する予定である。さらに詳細を知るには発刊本を参考にして欲しい。

2. 研磨の特徴

研磨には、その頭に部品名、材料名、形状名、品質名、援用技術名などを付けたさまざまな名称がある。ここでは加工品質に注目して粗面研磨と鏡面研磨に大分類する。前者にラッピングや砥石研磨、後者に光学ポリッシングや CMP (Chem. Mechanical Polishing) などが該当する。

粗面研磨のラッピングでは、誰もが知るように鋳鉄製の硬い工具のラップと十数 μm 径の粗い砥粒を用いるので、工作物がガラスであれば微小破砕が集積した曇りガラス面に仕上がる。一方ポリッシングでは、1 μm 以下の微細砥粒と軟質工具のポリッシングパッドやポリシャを用いるので、工作物に対する砥粒の機械的作用が軽微になり鏡面に仕上がる。

さらに平面度の良い形状に仕上げたい場合、工具と摺り合わせる研磨操作を調整して工具の形状を反転させる条件をとる。平面ラッピングでは、ラップの形状を常に平面に維持し、劣化したときには平面に修正することが肝心とされる。また、このことは砥石を工具とする砥石研磨や軟質工具を用いるポリッシングにおいても同様である。

図 1.1 は、円板状の BK7 ガラスをアクリルのリング状工具と酸化セリウム研磨剤を

用いてポリシしたときの加工量と工具摩耗量の変化に注目した結果である。ラッピングを終えたばかりの曇りガラスからポリシングを始めている。曇りガラスである当初は、加工量が小さく工具摩耗量が多い。ポリシングが進んでガラスが鏡面になると反対に加工量が大きく、工具摩耗量が小さくなり、これは安定状態として長く続く。理論的扱いでは、この安定状態におけるポリシングを対象にする。

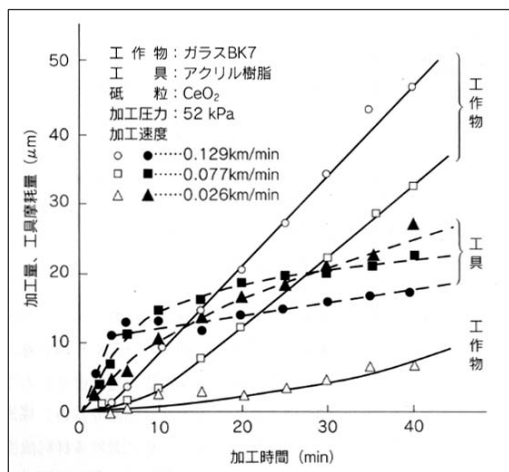


図 1.1 ポリシングにおける
加工量と工具摩耗量

3. 理論的扱いにおける研磨運動と圧力

ポリシングでは、所定の形状精度をもつ鏡面に仕上げるまでに時間を要するので、通常は一定運動をする研磨機が用いられる。研磨機によって描かれる工作物や工具の運動軌跡の上で微小な材料除去が営まれ、それらが積み重なって加工量や工具摩耗量、平面度や工具面形状が生成される。この軌跡は幾何学的に求まるが、それぞれの寸法の違いや相対運動の際のはみ出しなどがあると連続したものではなくなり、途切れる部分がでてくる。運動解析ではこの部分で材料除去が行われていないことを考えに入れていく。一方、それら軌跡上で微小研磨圧力があってはじめて材料除去が可能にな

るので、研磨圧力に関する解析も並行させなければならない。両者があたかも密着した状態にあると仮定して両者の形状に関する分布圧力を導いていく。これらをもとに運動解析と圧力分布解析を一体的に進め、導出した理論式による計算結果と実際の研磨が一致すれば、計算機シミュレーションが可能になる。

4. 次回からの予定

初回～12回まで連載のうち、前半は基礎編になる。加工量や工具摩耗量と速度、圧力、時間の比例関係およびその定数に関する説明、その応用として平行度修正研磨の理論的扱いと検証、ピッチなど軟質工具のなじみ現象、分布圧力に關与する弾性変形定数 or 相対弾性定数の説明、応用として異種材料の同時研磨における加工量差・段差の発生の理論的扱いと検証、簡易構造のリング工具とはみ出しのない円板工作物・はみ出しのある円板工作物のポリシングにおける平面変化の理論的扱いと検証などを扱う。

後半は応用・実用編になる。具体的な研磨法、研磨機、工作物を題材にし、平面研磨の理論的扱いと検証を進める。修正輪形研磨機による円板工作物の平面ポリシング、オスカー型レンズ研磨機による平面ポリシング、コンボリューション研磨、キャリア式大型ポリシ盤によるSiウエハのポリシング、小径工具を用いた揺動速度制御型ポリシ機によるSiウエハのポリシングや矩形石英基板のポリシングなどの運動解析と圧力分布解析をもとに、形状変化を求める理論式を導き、検証を行う。そこでは各研磨機の写真 or スケッチ、研磨モデル図などを示す。