



# アクリル粒子を用いた精密形状加工と アクリル板を用いた平坦化加工

東京大学 大学院工学系研究科  
三村秀和

## 1. はじめに

本稿で紹介する研究は、普段目にするアクリル材料に加工に適した特性があることを偶然発見し、その特性を利用した精密形状加工と平坦化加工を開発したという内容である。アクリル材料の化学的特性と加工における平坦化の物理を駆使して、極めて安価な方法でナノ精度の加工と原子レベルの平坦性を持つ表面を実現している。元々は高精度なミラーを作製するために始めた研究からスタートしたが、思わぬ方向に発展した。加工分野に大学発の技術により有機ポリマー材料の利用のきっかけになるのではと感じている。本加工法はその高い加工特性から、すでに実用化が進められている。この新しい加工技術についてその経緯から説明したい。

## 2. 高精度ミラーの作製の課題について一本開発が始まった経緯

私の専門である高精度ミラーの製造分野は、平面、球面の形状であり、材料が標準的なガラスやシリコンであれば、20年前には原子レベルの精度である1nmの精度を達成している。この高精度な形状精度と究極の表面平滑性が求められる光学素子の一つに短波長の光である放射光施設用のX線ミラーやEUV (Extreme Ultraviolet) リソグラフィー用ミラーが挙げられ、2000年代に実現され実用に至っている<sup>1,2)</sup>。

現在の高精度ミラーとレンズの製造分野における課題は、形状に関する課題と材料に関する課題に分けられる。後者については、材料が変われば最適な加工条件が異なり、特にプラスチック製ミラーや金属製のミラーにおいて高精度な加工は難しい。光学分野でも様々な材料が提案されており、それに応じた加工法が開発が進められている。ここでは前者の形状に関する課題について議論する。

放射光用のX線ミラーに目を向けると、上述の単純形状ではなく自由曲面のミラーが高精度に作製できれば、光学系のミラーの枚数が減り、また、新しい機能をもつX線顕微鏡などが実現可能となる。そうした放射光用ミラーを実現するためには、急峻な非球面形状において1nmの形状精度と表面粗さの実現が不可欠となる。図1は、放射光施設向けに現在開発が進んでいる自由曲面ミラーの写真であり、急峻な形状であることがわかるであろう。

図2は、高精度ミラー製造における空間波長に関する概念を示している。高精度なミラーを作製するためには、形状を狙って修正する形状修正加工と自動平滑化による平坦化加工を組み合わせが必要である。ここで大事なのは、形状修正可能な空間波長成分と自動平滑化可能な空間波長成分を重ねる必要があることである。長い空間波長領域の凹凸は狙って数値制御加工により除去をする。短い空間波長の凹凸は自動平滑化の作用によって平滑化する。1nmの除去制御性のある加工技術は、IBF (Ion Beam Figuring), EEM (Elastic Emission Machining), MRF (Magnetorheological Finishing) が挙げられる。加工の空間分解能は0.5μm程度であり、0.5mm以上の空間波長の凹凸の除去が可能となる。自動平滑化については、平面、球面であれば空間波長1mm以下においては、一般的なパッド研磨によって0.1nm (RMS) オーダの精度が実現可能である。