

研磨炭に学ぶ異方性砥石作製の試み ～マイクロハニカム構造の試作～

埼玉大学 ○杉原幸汰, 笹沼彩冬, 都田海人, 山田洋平, 池野順一

1. 緒言

現在用いられている砥石は、天然砥石と人造砥石に大別される。工業的に用いられる砥石はそのほとんどが人造砥石であるが、工芸などの分野では人造砥石にはない加工特性を求めて天然砥石を用いる職人も多い。中には岩石以外の砥石も存在し、とくに研磨炭は特定の木炭を研磨に用いるものである。古代では青銅鏡の研磨に用いられ、現代では漆器や金属などを対象とした工芸の分野で用いられている。しかし、工学的な視点による研究や活用はほとんどされてこなかった。

著者らはこれまでに青銅試料や漆試料を対象にした研磨実験を行い、職人が求める加工特性は、研磨炭のもつ異方性構造によるものであることが推察された。もしもこの異方性構造を天然素材に依存せず人工化できれば、これまでにない特性を持つ人造砥石開発が期待される。ここでは研磨炭を模した異方性構造を作製することを試みたので報告する。

2. 研磨炭の構造と加工特性

研磨炭はほとんどの場合、木口面を研磨に用いる。木口面を観察すると、製炭前に細胞壁であった部分のみが炭化して残った微細なハニカム状の異方性構造をしている(図1)。

これまでに研磨炭の加工特性を明らかにするために、青銅試料、漆試料の研磨実験を行った¹⁾²⁾。青銅試料の表面は結晶組織による凹凸が支配的であるが、研磨炭を用いた研磨では凸部の高さを揃えるように平面が創成できた。漆器製作においては、漆の塗布の際に刷毛によって生まれる凹凸を硬化後に取り除くために研磨炭を使用する。凹凸を含めた漆1層の平均的な厚さはおよそ70 μm 程度で、40 μm 程度の厚さを残すために30 μm の研磨で凹凸を取り除かなければならない。等方性構造を持つ砥石では、粗さは低減するもののうねりが残存してしまう。一方、研磨炭による研磨では、凸部が優先的に削り取られ、うねりを除去することができた(図2)。

研磨炭は研磨面に垂直な方向では変形量が小さく、所望の研磨表面形状に仕上げるができる。一方で研磨接線方向では、研磨炭の薄い壁部が容易に崩れ、遊離砥粒として作用する微細な粉末を生成するとともに、スクラッチを抑えた研磨が進行する。

運動転写による面形状創成技術がまだない時代には、このような異方性構造によって面の形状創成を行っていたことが推察された。

3. 微細異方性構造の創成手法

研磨炭の特性を持った人造砥石の作製を試みることで、こ

こでは触媒担体やフィルタとして使われる多孔質構造体に着目した。これらは流体流路内で用いられるため、反応効率向上のための大きな表面積を持ち、かつ圧力損失の少ない構造を持つことが理想とされる。そのため一般的にはハニカムに類似した一方向に伸びた形態をとるものが多い。とくに化学の分野では、直径数十 μm の空孔と厚さ数 μm の壁部で構成されるマイクロハニカム(以下MHと記述)構造を作製する研究³⁾が知られている。MHと研磨炭はその構造が類似しており、研磨炭の構造を模倣することができると期待された。またシリカによって構成されているMHの研究もあり、シリカMH砥石ができれば、研磨炭の加工特性を金属や半導体材料など多くの素材の研磨にも発揮することができると考えた。

4. シリカMH構造体の試作

4.1 作製方法

シリカMHは以下の工程で作製した。まずケイ酸ナトリウム水溶液を1.76mol/Lになるよう精製水で希釈し、イオン交換樹脂を用いてpH2.9になるよう調整した。これによって作製したシリカゾルを内径10mmのポリプロピレン(PP)チューブに深さ100mm程度まで注ぎ、30°Cで3時間静置しゲル化させた。冷媒として液体窒素を用い、その液面から105mm/hの一定速度で挿入した。全体が凍結したのち、-20°C程度の冷凍庫で一晩静置し、次に50°Cで解凍した。大気中で乾燥させるとMH構造が維持できないため、ここでは水をt-ブチルアルコールで置換した後に凍結乾燥を行った。最後に80°Cで1h加熱して溶媒を完全に除去した。

4.2 構造観察

作製したシリカMHの断面SEM像を図3に示す。断面はハニカム形状になっていることがわかった。壁部には互いに向かい合った突起が多数観察され、本来あるはずの壁部が途中で途切れているように見えた。西原ら³⁾によれば、シリカMHの構造は冷媒への挿入速度、ゲルと冷媒の温度差、ゲルの濃度により決定される。今回の条件では空孔径10 μm 、壁部の肉厚0.5 μm の構造が想定されたが、作製したMHの20か所を測定すると、平均空孔径38.2 μm 、平均肉厚1.55 μm と、両者とも想定より大きなMHとなった。その原因として、MH構造の型となる氷晶が過度な成長を起こし、隣接する氷晶が融合することで、壁部が途切れると共に空孔径が拡大したものと考えられる。壁部の途切れによる構造の均質性低下は、砥石としての機械的強度の不均一性が懸念され、スクラッチの原因となる大破片の発生原因となることが予測された。そのため、できるだけ均質性の高い構造を作製することが望ましい。向井ら⁴⁾によれば、本手法を用いて最終的に得

られるシリカ構造体の形状は、シリカゲルの状態に大きく依存する。シリカゲルの状態は溶液調製の条件や、ゾルの温度、pH、ゲル化を行う時間によって変化するため、すべてを適切に管理することは難しく、再現性に課題があると考えた。そこで次に、強度と均質性を高めつつ、より簡便にMHが作製できる手法を検討した。

5. セルロースナノファイバを含むシリカ MH 構造体の試作

MHの作製には多くの場合、ゲルやそれに近い高粘度の溶液を用いる必要がある。木材などの主成分であるセルロースを化学的手法によりナノスケールの繊維としたセルロースナノファイバ分散液に、樹脂や粒子などを混合して強度や機能を付与したMHの研究⁵⁾がある。これを参考にして、セルロースナノファイバを用いたMHに砥粒となる物質を含ませることで、異方性構造をより簡便に得ることができると考えた。ここではケイ酸ナトリウム溶液に代わり、研磨に実績のあるコロイダルシリカを用いた。さらに、セルロースのみでは砥石強度が不十分な場合に備え、EPD 砥石の結合材として実績のあるアルギン酸ナトリウムを用いて構造が作製できるか検討した。

5.1 作製方法

MHは以下の工程で作製した。市販のセルロースナノファイバ水分分散液を精製水で希釈し、2wt%の分散液を得た。ここに市販のコロイダルシリカ分散液、アルギン酸ナトリウム粉末を加え、均一に混合するまで攪拌した。作製した溶液はセルロースナノファイバ、コロイダルシリカ、アルギン酸ナトリウムを固形物重量でそれぞれ0.88wt%、6.74wt%、0.46wt%含む溶液となった。溶液をPPチューブに注ぎ、液体窒素冷媒に対して500mm/hの一定速度で挿入した。凍結した試料を-20℃程度の冷凍庫で4時間静置したのち、解凍せずに氷から凍結乾燥を行った。

5.2 構造観察

作製したMHの断面SEM像を図4に示す。断面のハニカム形状が確認でき、前章で作製したMHと比較してより簡便に微細なMH構造を作製することができた。20か所で空孔径および肉厚を測定すると、平均空孔径12.2 μm 、平均肉厚0.69 μm であった。溶液濃度や挿入速度によって構造を変化させることで、加工対象や条件に応じたより良い加工特性を得ることが期待できる。

6. 結言

本研究では研磨炭の加工特性を人造砥石に応用することを目的とし、異方性微細構造を実現するMH構造体に着目した。2つの異なる溶液からMH構造体を作製し、研磨炭に近い構造を比較的簡便に作製することに成功した。

今後は作製したMHを砥石として加工に使い、加工特性の調査を行う予定である。また、その結果を基に砥石として妥当なMH構造の改良を加えていきたい。

7. 参考文献

- 1) 笹沼彩冬, 池野順一, 山田洋平: 研磨炭に関する研究 ―青銅を用いた研磨炭の加工特性調査―, 精密工学会春季大会学術講演会論文集, 2024, 655.
- 2) 笹沼彩冬, 池野順一, 山田洋平: 研磨炭に関する研究 第3報 ―漆における研磨炭の加工特性調査―, 精密工学会秋季大会学術講演会論文集, 2025, 537.
- 3) H. Nishihara, S. R. Mukai, D. Yamashita and H. Tamon: Ordered Macroporous Silica by Ice Templating, Chemistry of Materials, 17, 3 (2005) 683-689.
- 4) S. R. Mukai, D. Yamashita and H. Tamon: Porous properties of silica gels with controlled morphology synthesized by unidirectional freeze-gelation, Microporous and Mesoporous Materials, 63, 1-3 (2003) 43-51.
- 5) Z.-Z. Pan, H. Nishihara, S. Iwamura, T. Sekiguchi, A. Sato, A. Isogai, F. Kang, T. Kyotani and Q.-H. Yang: Cellulose Nanofiber as a Distinct Structure-Directing Agent for Xylem-like Microhoneycomb Monoliths by Unidirectional Freeze-Drying, ACS Nano, 10, 12 (2016) 10689-10697.

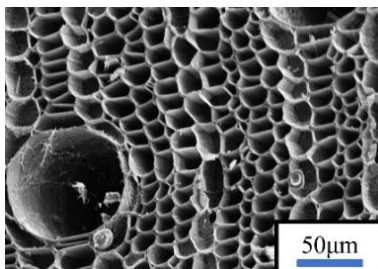


図1 研磨炭のSEM画像

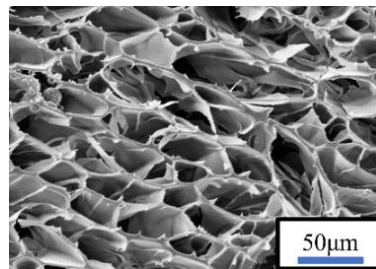


図3 シリカMHのSEM画像

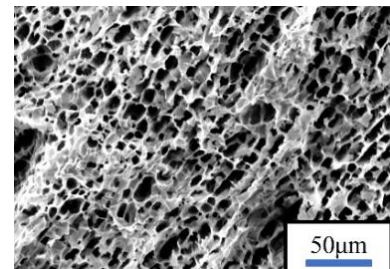


図4 セルロースを含むMHのSEM画像

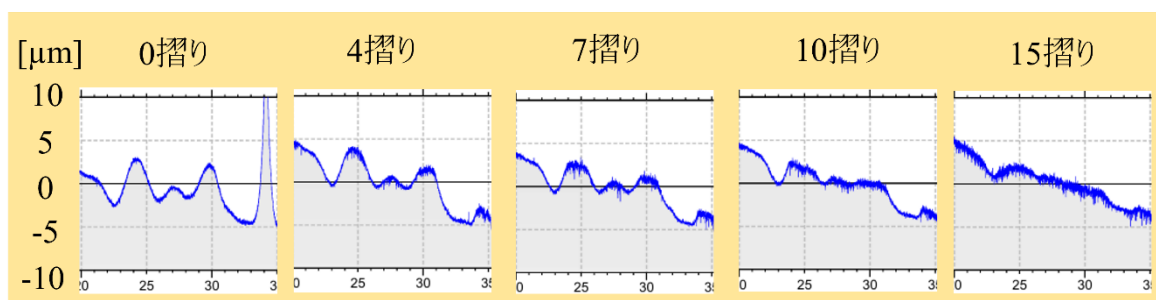


図2 研磨炭による漆試料の研磨過程