

# 岩石薄片の製作法 ～ 1日に5枚の薄片を作る方法～

2017.9 (2019.4 小修正) by 植田

## 1. 考え方の基本

- なぜ手早く作るか 薄片制作は目的でなく手段. 作る時間を短く, 観察と考察を長く.  
皆が手早く作れば, 薄片室はそれほど混雑しない.  
「過ぎたるは及ばざるがごとし」 やりすぎは質を落とす.
- 手早くするには 「やりすぎない」 的確な仕上がり具合を覚える  
「欲張らない」 必要最小限の面積を研磨する  
「失敗を恐れない」 ビビッて時間をかけるより, 潔く失敗しすぐ作り直す.  
「よい状態を覚えておく」 物事がうまく的確に進んでいる時に, いかにも速やかに終わるかを知っておくことが重要. 1つの工程が5分で終わらない場合は, やり方, 判断, 機械の状態, のいずれかが悪いと考えたほうがよい.  
「おまじないからの脱皮」 しくみを理解して, 常に改善して, 無駄を減らす.

## 2. 全体の流れ

9:00～10:00	1次切断5試料
10:00～10:30	チップの面出し×5.
10:30～11:00	チップの仕上げ研磨×5. 終了したものから順次乾燥
11:00～11:30	乾燥
11:30～12:00	貼り付け×5
12:00～13:00	加熱固化, 昼休み
13:00～13:30	二次切断×5と機械清掃
13:30～15:00	研削(#220, #600)×5
15:00～15:30	#1000の研削～仕上げ研磨
15:30～16:30	カバーガラス貼り
16:30～17:00	片付け, 清掃

- \* 薄片制作の経験が少ない学生でも大体以上の段取りで1日に5枚作製できることは, 当研究室で実証済み.

### 3. 作業工程の基本

#### (1) 1次切断（チップ整形）

岩石試料から厚さ1 cmの板(スラブ)を切り出し、端を切り落として約2×3 cmのチップにする。チップの裏面に顔料系マーカーで試料番号を書く。

- \* チップは厚くしないこと(乾燥不良や無駄な乾燥時間をなくす)。
- \* 必要以上に広いチップをつくらない(無駄な研磨時間をなくす。カバーガラスに収まるように)。
- \* 平らに切断する。切断中に石が動かないよう、粘土で固定し、よく押さえながら切断。
- \* (切断面が曲がると、面出し研磨で時間がかかる)
- \* 研磨する予定の面だけでなく、裏側の面も平らに切断。裏面の凹凸は乾燥不良の原因になる。
- \* 側面も切り落として平らにする。不規則な側面は、二次切断の失敗を招きやすい。
- \* 脆いチップはホットプレートで1時間乾燥させた後、ペトロポキシを塗り補強する(固化1時間)。
- \* 拳大の試料が1分かかってもし切れなときは、刃の状態が悪い可能性が高いので、そのまま続けるよりもドレッシング(金属に埋まったダイヤモンド砥粒を表に出す作業)をしたほうがよい。

#### (2) チップの面出し

チップの片面を#600の研磨剤を塗った研磨盤で摺り、ダイヤモンドカッターの切傷がなくなるまで摺る(目安は1-2分)。

- \* 著しく硬い石や、曲がった切断面出ない限り、#120、#220は不要。
- \* #600で平面が出るよう、研磨盤の外縁で摺ること。ビビって内側で摺ると曲面になりがちで、次の#1000の工程で無駄な時間がかかる。
- \* 平面になったか否かは、洗ったチップの水気を拭き取り蛍光灯の光を反射させて確認する。時間をかけて研磨するよりは、マメに平面仕上がりを確認しながら最小限の研削で平面を出すほうがよい。

#### (3) 貼付前の仕上げ研磨

#1000の研磨剤とガラス板を用いて全面に艶が出るまで磨く(目安は1-2分)。

- \* 研磨の仕上がりは、洗ったチップの水気を拭き取り蛍光灯の光を反射させて確認する。
- \* #1500、#3000の研磨は不要。

#### (4) 乾燥

よく水洗いしたチップを120℃のホットプレート上で1時間乾燥させる。

- \* チップが厚くなければ乾燥は1時間で充分。長時間の放置は無意味。

#### (5) 貼付け

- ① スライドガラスをよく拭いて、指の脂などを除く。
- ② チップの表面に爪楊枝でペトロポキシを1～2滴垂らし、全面に塗布した上で、余分なペトロを手前側に寄せる。ぷすぷすと泡が出る場合は、泡が収まるまで少し待つ。
- ③ スライドガラスを手前側から奥へゆっくり倒すように貼付ける。泡が向こう側へ押し出されていく様子を確認しながら。
- ④ スライドガラスの上から爪楊枝でぐりぐり回すように押さえて、余計な樹脂を脇から出す。泡が残った場合は、泡あたりを楊枝等で押さえながらグリグリとガラスを動かすと大方の泡は抜ける。
- ⑤ 貼付け終わったら、ガラスが下になるよう反転して120℃で1時間静置し、樹脂を固化させる。反転の

際に、できるだけペトロがガラスの下へ流れないように注意・工夫する。

- ⑥ スライドガラスの裏に付着したペトロは、固化後に鉄へらかッターナイフでそぎ落とす。裏面にペトロが残ると二次切断の支障になる。

## (6) 二時切断

スライドガラスに貼り付いたチップを、二次カッターで薄くそぎ落とす。

- \* セロテープは使わないほうがよい(スライドガラスとホルダーの間は密着させる)。
- \* 吸盤も使わなくてよい(あの程度の吸引力は無意味)。
- \* ホルダーにチップを指でしっかり押さえつけながら切断する。

## (7) 研磨盤での研削(薄化のための荒削り)

研磨盤で、#120 → #220 → #600 と研磨剤を順次細かくしながら、薄片を薄くしていく。

目安として、

- ⑦ #120:0.5mm ぐらい(厚さがようやくわかる程度)まで。硬くない石なら#220 から始めてもよい。
- ⑧ #220: 石英や長石が緑～水色の干渉色を示す程度まで(5～10 分:二次切断の厚さによる)。
- ⑨ #600: 石英や長石が橙～赤紫の干渉色を示す程度まで(5 分以内)。
- \* 各工程で、厚さをマメに確認すること。
- \* 磨り減り方が均等になるよう頻繁に薄片の向きを変える。
- \* 研磨盤上の水分や研磨剤が足りなくなると薄片が飛ばされるので、マメに補給する。
- \* 厚さを確認する際に、顕微鏡に研磨剤がつかないように、薄片よく水洗いし、使用後に顕微鏡のステージを拭くこと。
- \* ビビッて厚いまま次の工程に移ると、無駄な時間がかかる。失敗を恐れず攻めて、早いうちに的確な仕上がりを覚えるのが、上達の早道。

## (8) ガラス板での研削(厚さの最終調整)

#1000 の研磨剤を塗布したガラス板上で、石英や斜長石が白～明灰色の干渉色を示すまで研削する。

- \* #600 からの切り替えの厚さが適正であれば、極端に硬い石でない限り 5 分以内で仕上がる。(裏返せば、#1000 が 5 分以内で仕上がらない場合は、#600 の工程に改善の余地がある)
- \* #1500, #3000 は不要。

## (9) カバーガラス貼付け

- ① 薄片をよく水洗いし乾燥させる。
- ② 薄片上にアズキ大のバルサムを置き、上からカバーガラスを載せる。
- ③ 180℃くらいに設定したホットプレート上に薄片を置く。
- ④ 融けたバルサムがカバーガラス下に広がり 10-20 秒沸騰した後、薄片をホットプレートから木の板の上  
に降ろし、熱いうちに爪楊枝でグリグリと押さえて泡を抜いてから、冷ます。
- ⑤ 固化したら、熱した鉄へらではみ出たバルサムをそぎ落とす。
- ⑥ エタノールに 1 分ぐらい漬け、白濁したバルサムを歯ブラシで落とす。
- ⑦ 最後に水洗いしたら完成。
- \* 薄片 5 枚なら 30 分で終わる。

## 4. コツや背景など

### (1) 【チップを大きくしないほうがよい理由】

- ① 一次切断や二次切断の工程を早く済ませる
- ② 乾燥の時間を短くするため
- ③ カバーガラスに収めるため
- ④ スライドガラスからチップがはみ出ると、二次切断に失敗する。
- ⑤ チップの平面仕上がりをしやすくする(縁減りを抑制する)ため

#### ① 切断工程短縮

カッターのブレードの切れ味が一定の場合、試料が大きい(刃先が石と接触する長さが長い)ほど切断が遅くなる。経験的には、これは単純な比例関係ではなく、指数関数的？(やや大げさだが)であり、試料の厚さが2倍になると切断の進みは何倍も遅くなる。したがって、不必要に大きな試料を採取せず、不必要に大きなチップを作成しないことが、1次切断や2次切断を速やかに進めるコツの1つと言える。

#### ② 乾燥時間短縮

乾燥は上面下面のみならず側面からも進むので、小さいチップのほうがよく乾燥する。また、不必要に厚くしないほうが乾燥が早い。

#### ③ カバーガラス

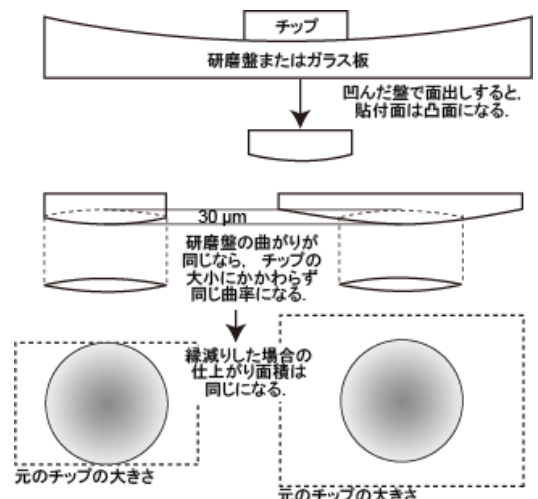
一般的なカバーガラスは24x32mmなので、それに収まるようチップは2x3cmで作成する。36mmや40mmの長さのカバーガラスも世の中にはあるが、おおきいほど高価。なぜカバーガラスに収める必要があるかは、「カバーガラスを推奨する理由」を参照のこと。

#### ④ はみ出し防止

スライドガラスに貼り付けた際にチップがはみ出ると、スライドガラスが二次切断機のホルダに密着しない(あるいは切断中に離れてくる)ために、割れたり刃が斜めにスライドガラスまで切り込むなどの失敗をおこしやすい。

#### ⑤ 平面仕上がりに

#600(あるいは#1000)の面出しの平面仕上がりは、研磨盤(あるいはガラス板)の凹みに大きく左右される。チップが大きいほど盤の凹みの影響を受けてチップの貼付面が凸面になりやすい。この凸面が修正されなまま貼り付けて薄片を作成すると縁減り(薄片が外縁からなくなって丸く小さくなってしまう)がおこる。縁減りの運命は貼り付け前に決まっていることに注意。チップの大小にかかわらず、貼付面の曲率は盤の曲率で決まる。薄片の仕上げ厚さは決まっています、研磨の曲率も同じなので、縁減りがおこる場合はチップの大小に関係なく同じ直径の丸い薄片に仕上がる。つまり、このような場合には、大きいチップを作ったことは無意味になる。貼り付け前に気づけば凸面を修正することもできるが、チップが大きいほど修正に時間がかかる(大きいほど研磨に時間がかかるのは、切断と似て、比例関係ではない)。



縁減りの原因と、チップの大きさの関係。スライドガラスは省略してある。研磨盤の平面が保たれていないと、周縁が丸くすり減った「縁減り」の薄片ができる。縁減りをおこした場合、大きいチップほど、失われる面積が多きい。

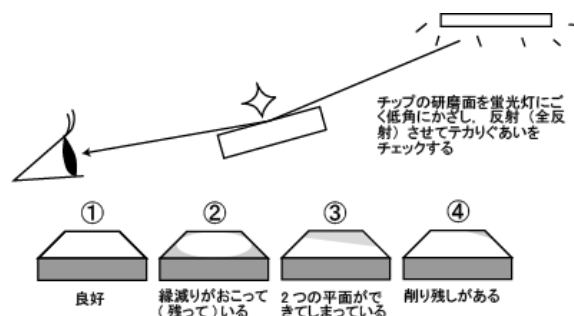
チップを大きく作りたいのは、だれもが抱く欲求である。しかし、チップが大きいほど時間もかかり、良い仕上がりを得るのは難しくなる。粗粒な岩石や、不均質な岩石では、2x3 cm では面積が足りないこともあるだろう。そのような場合でも、大きなチップで 1 枚作るよりは、小さなチップで 2 枚作るほうが、手早く仕上がりがよい薄片を得やすい。なお、ほとんどの岩石は、よほど不均質でない限り 1 試料から 1 枚の薄片を作ればその岩石の基本的な記載はできる。いきなり 1 試料から多数の薄片を作って観察するよりは、当面は各試料 1 枚としてできるだけ多くの試料の薄片を観察したほうが、目も肥えるし新しい発見に出会う機会も多い。観察して大事な試料とわかった後に、1 枚の薄片では面積が足りないと思ったら後から 2 枚目 3 枚目を作り足せばよい。

## (2) 【縁減りを防ぐには】

上に述べたように、縁減りは研磨盤やガラス板の曲がりの大小に大きく左右される。したがって、盤を平面に保つよう管理されていれば、縁減りはほとんどおこらなくなる。しかし、研磨盤を修正する権限を持つ学生は少ないだろう。以下に、与えられた環境下で縁減りを抑えるコツを記しておく。

### ① 貼り付け前に縁減りに気づく

貼付前に研磨面が曲がっていることに気づけば、平面に近づくよう修正できる。#600 や #1000 での面出しの際に、チップの研磨面の曲がりがある程度チェックできる。右図に示したが、この方法は、細かい研磨剤用の盤の曲がりが粗い粉の盤の曲がりより小さくないと、縁減りを検出できないことに留意しておくこと。



### ② 盤の曲がりを確認する

盤は自分で直せなくても、どのくらい曲がっているか把握できていれば、それなりの対処や工

夫ができる。清掃され乾いた研磨盤の上に長い定規を当てる。曲がりが大きいと肉眼で隙間が見える。小さな曲がりには紙を差し込むとわかる。ガラス板の場合は、濡らしたガラス板を 2 枚合わせたとき、うまく滑らなかつたり中に気泡がトラップされる場合は、少なくともどちらかのガラス板が凹んでいる。

### ③ 盤の縁や中央で研磨する

曲がった盤でも、周縁部は曲率が小さいことが多い(「研磨剤を用いた研磨のコツ」を参照のこと)ので、周縁で磨けば比較的平面に近い面を出せる。中央部は上に凸になっているので、修正に使ったり、厚い部分だけをねらって削るのに使える。回転した状態で中央部に当てても削れないので、盤を止めて中央部に研磨剤を塗って手摺りする。

### ④ 平らなガラス板を使う

可能な限り平らなガラス板を選んで使う。

### ⑤ ガラス板を矯正する

流し台で、2 枚のガラス板を、研磨剤を挟んで共摺りする。最初は粗い粉で平面を出す。摺り始めると、外縁だけが削れて粗くなり、中央の凹みがきめ細かいまま残るので、凹んだ部分を目視できる。この凹みが消滅するまで摺る。凹みがなくなったら、#600→#1000 で仕上げ研磨する。やる時は薄片係に許可をもらうこと。矯正したガラス板には印をつけておくとよい。

### ⑥ 自分のガラス板を持つ

ガラス板は、自分で平面を出して自分で管理するのが一番よい。そのためにはマイ・ガラスを持つ

のがお薦め。割れた窓ガラスなどを適当に調達して、ガラス切りで切ってもよい。厚手の板ガラスはなかなか落ちていないが、ネット通販で指定の大きさにカットして売ってくれる(例：<https://www.kowa-g.jp/>)。1人で買うと割高なので、共同購入が経済的。10mm厚の20x20cmのガラス板を10枚購入した場合、1枚あたり700円くらい。研磨用に面出しされているわけではないが、上記のサイトの場合、購入後そのまま研磨しても今のところ問題はない。

⑦ ガラス板で研磨するときに、直線往復で摺る。

チップをガラス板で面出しする際、円運動で摺ると縁減りしやすい(これは、二次切断後の研削でも言える)。チップを摺る際、どんなに均等に力を加えたつもりでも、中央部より縁(押して滑らす方向に対して前縁か後縁:人によって異なる?)が早く削れる。くるくる回しながら摺ると、周縁がまんべんなく削れて縁減りとなりやすい。直線往復運動だと、中央より早く削れるのは常に片側だけなので、研磨面が傾くだけで曲面にはなりにくい。適当なタイミングでチップの向きを180度変えてやれば、傾きも修正できる。

### (3) 【#1500～#3000を省略してよい理由】

元来、#3000で仕上げるのは、光学顕微鏡で観察した後に鏡面研磨して電子顕微鏡(EPMAやEDS)で観察や分析をできるようにするための工夫が習慣化したもの。つまり、EPMA等で鉱物組成を分析する予定のない薄片を#3000で仕上げる必要はない。また、#1500と#1000は研磨剤の粒度があまり変わらないので、#1000の次に#1500をかけるメリットは小さい(どうしても綺麗に仕上げたいなら、#1000→#2000→#4000→#8000と、番数が順次倍になるように粒度を小さくしていくほうが効率的)。

心理的には、細かい番数で仕上げたほうが薄片が見やすいと思いがちであるが、これは必ずしも正しくない。たとえば、教科書にはざくろ石やかんらん石は「サメ肌状」と書かれているが、この「サメ肌」は研磨剤による表面の凹凸が鉱物の高い屈折率によって強調されて見えているのであって、仕上げの粒度を細かくするほどこの特徴はわかりづらくなっていく。また、一般に我々が光学顕微鏡で観察する際に注目する鉱物の大きさは数十ミクロン程度であり、#1000を超える細粒な研磨剤(数ミクロン)での仕上げ効果は、実用上はあまりないとみてよい。つまり、数ミクロンの微細包有物を観察するといった特殊な目的でなければ、#1000を超える細かい研磨剤の工程は、目的のレベルを逸脱した過度な作業と考えることができる(オーバースペックな薄片を作るよりも、節約した時間で早く別の試料の薄片を作ったほうが、得るものが大きいし、指導教員も機嫌がよくなる)。

### (4) 【カバーガラスを推奨する理由(マニキュアはやめたほうがよい理由)】

一般にプレパラートを作成する際は、試料を樹脂+カバーガラスで封入するが、その際には試料と屈折率が近い樹脂(封入剤)で封入して、試料表面での屈折や光の散乱を抑止する。岩石では、無色鉱物と屈折率がほぼ等しいカナダバルサム(屈折率1.54)と呼ばれる液状の松脂を用いるのが標準である。当教室でバルサムの代わりにマニキュアを用いるのは、EPMAによる鉱物化学組成の分析のために鏡面研磨する際に、カバーガラスをはがすのが面倒なので、リムーバーで簡単に溶けるマニキュアを用いたのが習慣化したものである。したがって、EPMA分析をする予定がない薄片にマニキュアを塗るのは、楽チンである以外にメリットはない。また、後述のようにカバーガラスは後から簡単に剥がすことができるので、たとえゆくゆくEPMAで分析する可能性がある薄片であっても、マニキュアでなければいけないという理由はない。

造岩鉱物を識別する際には、オープンニコルでの屈折率の観察が大変重要であり、とくに無色鉱物や沸石類の識別では決定的な役割を果たす。ベッケ線では、屈折率の相対的な大小しかわからないため、屈折率が既知の物質と比較しながら判別する必要がある。その際の最も標準的な指標は、封入材であるカナダバルサムである。例えば、カリ長石はバルサムより屈折率が小さく、石英は大きい。斜長石の屈折率は、Na

に富む斜長石ではバルサムより小さく、Ca に富む斜長石ではバルサムより大きい。また、沸石類はバルサムよりはるかに屈折率が小さい。...といった具合で、教科書でもそう紹介されている。マニキュアは爪に塗るために製造されたものなので、屈折率が岩石用に調整されているわけでもないし、公表もされていない(某サイトでは 1.36 程度の数字が出ていたが、本当ならほとんど全ての造岩鉱物より低屈折率)。恐らく製品によっても屈折率が異なるであろう。そのような屈折率が未知の物質で封入するのは、屈折率的確な判定の機会を失うことになる。前述のとおり、マニキュアを塗る習慣は EPMA に特化した薄片制作法から普及したものである。そのような岩石のプロにとっては支障はないだろうが、岩石や鉱物の顕微鏡観察を学ぶ学生は、マニキュアを使わず、バルサムとカバーガラスで封入して基本を身につけたほうがよい。

また、マニキュアは造岩鉱物より屈折率がかなり小さいので、薄片の表面の粗さが目立つ。そのためにより細かい研磨剤で仕上げる必要が生じる。これは、低品質の醤油で旨く食べるために高級な刺身を用意するのに似て、不経済である。少なくとも普段の生活では、手頃な値段の刺身に美味しい醤油をつけて食べたほうがよい(ハレの日には高級な刺身に美味しい醤油をつければよい)。#3000 で仕上げてマニキュアを塗るよりは、#1000 で仕上げてカバーガラスを貼ったほうが手早く美味しく味わえる。

かく言う私も博士課程の頃は面倒で 20-30 枚の薄片を並べてラッカー Sprey をかけてよしとしていた(あられ石の染色が流れないようにという意図もあったが)。その後、それでは限界があると感じたので、今は学部～修士の頃に立ち返って面倒でもカバーガラスで封入するようにしている。

#### ※カバーガラスの剥がし方

- ① 薄片を冷凍庫に数分入れて、キンキンに冷やす。
  - ② 冷凍庫から出してすぐ、カッターナイフをカバーガラスの縁からやさしく差し込むと、ペロンと剥がれる。
  - ③ エタノールに 1~2 分浸してバルサムをふやかしてから、歯ブラシでこすり水洗すれば、おわり。
- \* \* 剥がす時に、冷やした薄片を温めてしまわないよう、手早くやる(置かないで持ったままはがす)。

#### (5) 【貼り付けにペトロポキシを用いた方がよい理由】

元来、薄片の貼り付けにはレークサイドセメントと呼ばれる固形の松脂樹脂が用いられ、現在はペトロポキシ 154 というエポキシ系樹脂を用いるのが主流である。いずれも、屈折率は 1.54 であり、ペトロポキシは屈折率がカナダバルサムと同じになるよう調整されている。これらを用いる理由はカバーガラスの封入材と同じで、屈折率が既知の樹脂で接着することによって、屈折率を用いた鉱物の判別を容易にするためである。近年は、レークサイドセメントは用いられなくなったが、一方で市販のエポキシ系樹脂(アラルダイトや E セットなど)が容易に手に入るため、それらを用いる研究者も少なくない。

私が学生の頃は、学部生はレークサイドセメント、院生になったらペトロポキシであった(理由は、EPMA 等で電子線を樹脂に照射した場合、松脂は焦げて鏡筒内を汚染するため)。学部生でも院生でも屈折率 1.54 の樹脂で貼り付けるので、観察上の問題はなかった。一方当教室では、2-3 年生のような初心者はアラルダイトを用い、熟練者がペトロポキシを使うという制度があった。2-3 年生の頃にアラルダイトで接着するので、最初に顕微鏡を学ぶ大事な時期に、屈折率が未知の接着剤を用いた薄片を観察することになる。基礎を学ぶ頃に屈折率がわからないので、上達してペトロポキシが許されるようになっても屈折率を用いた観察が身につかない。赤ちゃんの離乳食と同じで、最初はしっかり管理された材料を用い、成長したら多少粗食でも何とかなる、というほうがむしろ好ましい。このような理由で、初心者はアラルダイト、熟練者はペトロポキシという制度は、教育上の問題が大きいと考え、2018 年以降は初心者からペトロポキシを使用することを推奨するようルールを変更した。

ちなみに私が調べたところでは、アラルダイトの屈折率はおおよそ 1.57 であるらしく、これが本当なら石英や一般的な組成の斜長石よりも高い(実際そう見える)。そのために、接着剤(封入樹脂)の屈折率を用いた

教科書的な無色鉱物の判定法は適用できない。

## (6) 【ペトロポキシが適さない試料】

- \* 石灰岩. 理由はよくわからないが, しばしば多量の気泡が発生する.
- \* 加熱すると収縮や変形が著しいチップ.  
粘土鉱物が多い, 一度多量の樹脂で固めた, などの理由で加熱するとチップが反り返って変形することがある. そうなると, 折角平面に仕上げた研磨面はもはや平面ではなくなり, まともな薄片にならない.  
→常温硬化型のエポキシ樹脂で, 加熱せずに固化させる.
- \* 多孔質の試料は, アラルダイトや E セットなどより粘性の高い接着剤のほうが気泡が入りにくい.  
★ペトロポキシで多孔質の試料を貼り付けるには,
  - ・面出しする前か最中にペトロを浸透・固化させて, できるだけ孔隙を埋める.
  - ・乾燥させた温度(120℃)より低めの温度(90~100℃)で固化させる.
  - ・貼り付けたら反転させて, スライドガラスが下, チップが上になるようにして固化させる(泡は上に行く性質があるので).

## (7) 【ペトロポキシの無駄遣いをなくそう】

ペトロポキシは以下のような特性をもつ

- ① 主剤と副剤を混ぜた時点から, 固化(重合)が始まる. 固化は高温ほど早く(120℃で 30 分程度), 低温で遅い(冷凍庫で数週間).
- ② 水分が混入すると, 加熱しても充分固化しなくなる(固化不良). 貼り付ける試料の水分はもちろんのこと, 空気中の水分の混入も固化不良の原因になる.

①の理由から, 主剤と副剤を混合済みのペトロポキシは, 固化を遅らせるために冷蔵庫内で保管している. しかし, 冷蔵庫内は湿度が 100%かそれに近い(庫内に取り込まれた外気が冷やされると湿度が上がる)ので, 中に保存すると空気中の水分の混入が進み, ②の理由から固化不良をおこしやすくなる. また, 冷蔵庫内でも冷凍庫に入れられない限りは 1 週間程度で固化してしまい, 完全な固化に至らなくても粘性が上がり岩石内に浸透しにくくなる(接着能力が落ちる). つまり, 混合直後から劣化が始まるのであり, ひとたび混合したペトロは早く使い切ったほうがよい.

薄片室の冷蔵庫を開けると, 同時に多数のポリ容器に混合されたペトロが保管されている. 容器に「○○研」などとマーキングされているものもあり, 複数の集団が別個に混合ペトロを作成し保管していることが伺える. しかも, 冷蔵庫内で放置されたまま固化していることも少なくない. しかし前述のとおり, ペトロは混合したらできるだけ早く使い切るのがよく, 複数団体が別個に作成し使い切らずに固化させてしまうのは, 無駄であるし, まだ固化していなくても個々の品質が落ちる. 全員が1つの容器で管理された混合ペトロを使用すれば, 混合から使い切るまでの期間が短く回転が早まり, 全員がいつも劣化が進んでいない新鮮なペトロを使うことができるし, 放置されたまま固化するような無駄もなくなるはずである. 自前のペトロを購入している研究室は好きにすればよいが, 少なくとも教室の共通予算で購入したペトロを各自(各団体)が別容器に作成して保管するのは, 禁止すべきである.

以下に, 無駄のないペトロの保管についての留意事項を記す.

- \* \* 全員が1つの容器のペトロを使う
- \* \* 冷蔵庫で保管する際には, 乾燥材(シリカゲル等)ともにパッキン付きタッパー等で密封する.
- \* \* ペトロ内に岩屑等のゴミを入れないよう, 注意して使う. ゴミが入っていたら, 気づいた人が爪楊枝で取り除く.



ペトロを別個に作成・保管したくなるのは、学生同士が互いに不信感を抱いていることの現れであろう。全員が課題や注意点を共有し、各自が自分だけでなく全体の質を高めるよう意識して行動することが、よりよい薄片の制作環境を整え、結果として自分の仕事の質の向上につながると思う。

## (8) 【効率のよい加熱を】

薄片制作にあたっては、チップの乾燥や樹脂の固化などで、ホットプレートを用いる。ホットプレートは手軽で便利であるが、下からの熱伝導だけで加熱されるので、加熱器具としてあまり効率がよくない。効率よく加熱できれば、チップの乾燥もペトロポキシの固化も30分もあれば済む(念のため1時間くらい置いたほうが無難だが)。そのような短時間で乾燥や固化が進まない場合は、どこかに熱伝導の効率を悪くしている要因がある(改善の余地がある)と考えるべきである。以下に、私なりの見解を記す。

### ① チップの成型

岩石チップとホットプレートの接触面積が広いほど、熱伝導が効率よく進む。そのためには、チップの下面(研磨するのと反対側の裏面)が平面であることが望ましい。1次切断で裏面を平滑に切ることが重要で、もし顕著な凹凸が残ったら一次カッターの刃先かグラインダー等で粗削りして凸部を落としたほうがよい。

### ② チップの厚さ

チップが薄ければ、昇温も乾燥も早く進む。ただし、あまりに薄い(<5 mm)と、乾燥による収縮でチップが反ってしまい貼り付けに支障が生じることがある。チップの厚さは1 cm程度が適切で、それより厚くしても良いことはない。

### ③ 樹脂の固化はスライドグラスを下に

ペトロポキシやアラルダイト等のエポキシ樹脂は、熱硬化樹脂であり、加熱による化学重合反応で固化する(糊のように乾燥して固化するわけではないことに注意)。熱が効率的に伝わり早く温度が高まればすぐに固まるが、熱が伝わってこなければ反応が進まずいつまでも固まらない。スライドグラスを貼り付ける際に、ガラスを上にしたまま置いておいても、熱は下からしか伝わってこないで、なかなか温度が上がらない(接地が悪ければ長時間置いても目的の温度に達しない)。スライドグラスを貼り付けたら、すぐに全体を裏返して、ガラスとホットプレートが直に接するようにしてやれば、接着剤に効率的に熱が伝わり早く固化する。なお、気泡は上に移動するので、ガラスが上だと気泡はチップとガラスの間に集まってしまうが、ガラスを下にすれば気泡は上に抜けて接着面付近に集まりにくくなる。また、多孔質のチップでは樹脂が浸透しやすいので、ガラスが上だと樹脂が石の中に落ちていってしまい接着面が気泡ばかりになることがある。ガラスが下だと樹脂が下に落ちて接着面付近に集まるので、多孔質でも接着の失敗が少ない。

### ④ 下敷きの素材

当教室の薄片室では、チップをホットプレートに置く際、テフロンシート敷くのが一般的である。しかしテフロンはそれほど熱伝導がよくない。熱伝導性がきわめてよいアルミホイルを用いたほうが効率的である。

### ⑤ ホットプレートの清掃

ホットプレート上には、岩屑や砂などが散乱している。テフロンシートやホットプレートには古い樹脂の固化したものが多数付着している。砂粒や固化した滴状の樹脂の上にチップを置くと、点接触となり、ホットプレートからの熱はチップになかなか伝わらない。ホットプレートやそこに敷くシートは常に平滑で清潔にしておき、チップが面接触で加熱されるべきである。使用前や使用後に、ホットプレートを清掃する習慣が望まれる。

## ⑥ 蓋の使用

ホットプレートやチップは空気を加熱するが、熱された空気はすぐ上昇して逃げてしまい、常に冷たい空気が降りてきてホットプレートやチップから熱を奪ってしまう。これを阻止するには、蓋をするのがよい。蓋をすると、加熱された空気は逃げずに側面や上面からもチップを温めるので、格段に加熱効率がよくなるし、温度分布も均質に近くなる。完全に蓋で密封すると水分もこもるので、蓋をする際に少しだけ隙間を作って適度に湿気を逃がすのがよい。

多くの人が乾燥や固化に不必要な時間をかけ、あるいは放置されたチップが多いと、清掃できず不潔→加熱効率が悪い→乾燥や固化に時間を要する→長時間チップが置かれている→加熱効率の一層の悪化→さらに時間がかかる→...の悪循環で、環境の改善ができなくなる。繰り返しになるが、適切な環境であれば乾燥や固化は1時間で充分であり、何時間も置いたり夜通し乾燥させる必要はない。

私が推奨する使用法は、

- \* 毎日薄片室を去る際に全員がチップを持ち帰る(ホットプレート上での夜間の放置をしない)。
- \* 毎日、ホットプレートをぬれ雑巾でふいて、砂粒等の異物を除去する。
- \* 耐熱ガラスか鉄板で蓋をつくる。

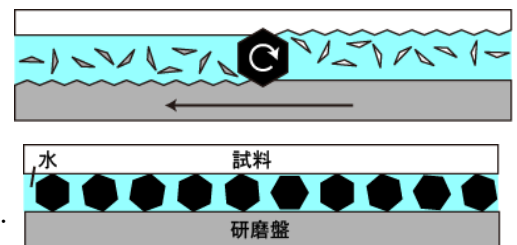
朝ホットプレートの電源を入れてチップを載せても、1時間後には貼り付けができる。その間に他の試料の切断や研磨などしていればよい。

## (9) 【研磨剤を用いた研磨のコツ】

研磨は薄片制作の上で最も時間がかかりがちな工程であり、成否に直結する作業でもある。全員が手早く研磨を進められれば、渋滞も解消されさらに効率的な作業が可能になるだろう。ここでは、改善の参考のために、私なりの研磨のコツなどを記してみる。

### ① 研磨のしくみ

鉄板やガラス板と試料(岩石)の間にある砥粒(研磨剤)が転がる際に、粒の角が試料の表面を引っ掻いていく。研磨剤が少なければ岩石と板が直接こすれて摩擦が大きくなり(飛ばされたり貼りついたりする)研磨は進まない。一方で、研磨剤は多すぎても砥粒同士がこすれあうだけで試料の切削は進まない。板と試料の間に砥粒が1層で敷き詰められ、板と試料に挟まれた砥粒がコロのように活発に転がる状態が理想と考えられる。試料を強く板に押し付ければ研粒が試料に食い込みやすく、早く研磨が進むが、大きな傷が多数できる。試料の押し付けを弱くすれば、砥粒の食い込みは小さくなり、研磨の速さが落ちるが、表面の仕上がりは均質になる。研粒自体は時間とともに割れて細かくなっていく。また、研磨を継続するにしたがい試料が削られてできた粉(粘土状の削り粉)が混じり、研粒の比率が減少するとともに粘着性が生じて、効率が落ちていく。そのため、粘土を洗い流したり研磨剤を足すなどのリフレッシュをタイミングよく施す必要となる。



### ② 目的に応じた研磨の仕方

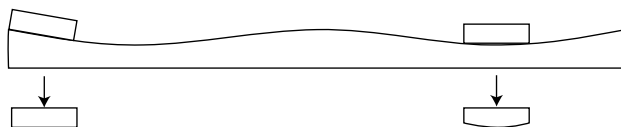
薄片制作時の「研磨」には、工程ごとに異なる3つの目的がある。

- A. 面出し・・・チップの表面の大きな凹凸や曲がりや削りとり、平面にする。
- B. 仕上げ研磨・・・チップや薄片表面の微細な凸凹の粒度を小さくし、平滑にする(本来の研磨)。
- C. 研削・・・薄片を適正な厚さまで薄くするために削っていく作業。

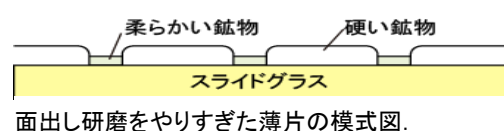
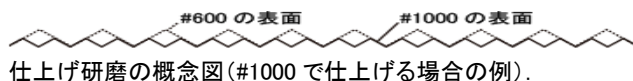
各工程で、自分が何をしたいのか(平面にしたいのか、滑らかにしたいのか、薄くしたいのか)目的をはっきりさせることが、無駄なく的確に仕上げるための第一歩と言える。

A: 面出し工程では、チップの切断面にできた凹凸や曲面をなくし、平面になった時点で作業を終える。それ以上やっても平面が平行移動してだけで、意味がない(時間と研磨剤の無駄)。凹凸の高低差に見合った粒度の研磨剤を用いて、均等に力を入れて削る。よほど一時切断の状態が悪くない限り、通常は切断後そのまま#600で行い、1-2分もあれば終わる。平面になったかどうかは、20-30秒ごとにチップをバケツの水で洗い水気を手で拭き取り(ドライヤーを使う必要はない)、蛍光灯の光を反射させて確認する。全面が途切れなく光を反射すればよい。終わったら水洗して研磨剤を落とし、#1000で仕上げ研磨を行う。注意点としては、

- \* #600の研磨盤が曲がっているとチップの全面が切削されても平面にならず曲面(凸面)になってしまう。これを#1000で修正しようとする時間がかかる。盤の曲がりが大きくなったら、修正を依頼する。
- \* 盤の曲がりを抑制したり、曲がった盤で平面に近い仕上がりを得るには、盤の端で研磨するよう心掛ける。
- \* 盤は皆怖がって端から遠いところで削るので、右上図のような断面にすり減っていく。全員が端で削れば緩く上に凸の面になり、仕上がりへの支障は小さくなる。



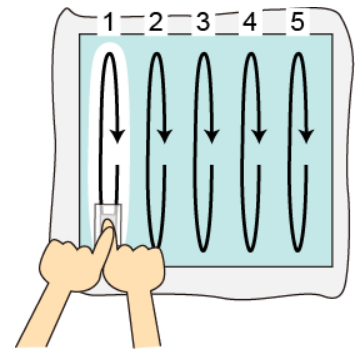
B: 仕上げ研磨は、A面出しやC研削と異なり、削るのではなく表面をならすことが目的である。そのため、1段前の研磨剤でできた凹凸が小さくなり、現在の粒度にみあった凹凸に仕上がればよい。それ以上研磨を続けても同じ粗さの研磨面が平行移動するだけで無意味であるのに加えて、柔らかい鉱物ばかりが削れて固い鉱物が残るため、不要な凹凸が生じる。そのため、必要最低限の時間(通常は1-2分以内)で仕上げるのが望ましく、やりすぎは質を落とすと考えたほうがよい。また、面出しや研削では力を入れて表面を削り落としていくが、面出しでは過度に力を入れると砥粒が試料に食い込みすぎてしまう。そのため、あまり力を入れないで摺るのがよいと思う。



以下に、推奨する研磨方法を記しておく。

- ① 机に濡れたタオルか滑り止めシートを置く
  - \* 必ず、滑り止めはガラス板より大きいものを使うこと。ガラス板より小さいシートを使うと、ガラス板の端まで使って研磨する際に板が揺れて不安定になり、まともに摺れない。
  - \* 水受けのお盆を敷く必要はない。お盆が必要だということは、水分が多すぎるということ。適切な分量で摺れば、ガラス板から水がこぼれることはほとんどない。こぼれたら雑巾で拭けばよい。
- ② ガラス板を水洗した後、研磨に使う面の水分を手で軽くぬぐい落とす(拭いたり乾かしたりしない)。表面に少量の水が残るのが大事。
- ③ #1000の研磨剤をガラス板の左端中央に少量落とす。アズキ~大豆くらいの量が目安。ガラス板の全面に撒くのではなく、1か所にまとめる。
- ④ 磨くチップ(や薄片)を使って粉を前後に延ばす。融けたソフトクリームくらいの質感がよく、牛乳の質感だったら薄すぎ(水が多すぎ)。
- ⑤ ガラス板の1/5の幅を使って、板の手前の端から奥の端までの帯状の領域で摺る。薄片の中央に右

人差し指を置き、その上に左手の人差し指を添えて、軽く力を入れて前後に長いストロークで往復させる。完全な直線往復だと研磨剤が押し出されてすぐに滑りが悪くなる(貼りつく)。往路と復路を少しずらした長楕円状にすると、常にチップとガラス板の間に研磨剤が巻き込まれて調子がよい。



効率的なガラス板の使い方の例。端から端まで長いストロークで研ぐ。研削では指に力を入れて削っていく。仕上げ研磨では優しく力を入れて磨く。水分は必要最低限で。

- \* 1つのチップ(や薄片)に 1/5 の幅しか使わないようにするのは、5つのチップ(や薄片)をガラス板の洗浄なしでまとめて摺るため。一つ終わったら隣に粉を撒いて次の1/5で摺る。水は足さない(乾燥してしまったら、1-2 滴落とす)。また、前のチップ(や薄片)を摺った残りの粉は使わない(削り粉で効率が落ちるため)。そのため、1回に撒く研磨剤はチップ1個分(薄片1枚分)の最低限とし、無駄に広げない。5 試料終わったらガラス板を水洗。
- \* 中央だけ使うとガラス板が凹んでいくので、できるだけ端まで使う。
- \* 力を入れずぬるぬる滑らしていても一向に研磨が進まないで、適度に力を入れて「研ぐ」こと。

C: 研削工程では、順次粒度を小さくしながら薄片を薄くしていく。不要な部分を削り落としていくので、いかに効率よく削るかが重要となる。同時に、片減りさせず厚さの均等性を保つよう、頻繁にチェックする必要がある。早く削るコツは、

- ① 薄く二次切断する。
- ② 切削性に優れた研磨剤を使う。
- ③ 飛ばしたり貼り付けたりしないように、適度な水分状態と清潔さを保って研磨する。
- ④ 削り始めてから削り終わるまで盤を止めず、洗浄も研磨剤や水分の補給も回したままで行う。
- ⑤ ビビって低速にしたり内側で研削せず、盤の移動が速く水分や砥粒が集まる外縁で研削する。
- ⑥ 内側に残る研磨剤や水分を外縁に補給しながら研磨する。
- ⑦ 砥粒が摩耗し、削り粉(試料から生じた粘土)が増えて効率が落ちてきたら、盤を洗って新しい研磨剤を塗ってから継続する(この際に試料を洗って片減りや厚さのチェックする)。
- ⑧ 粗い粉でできるだけ薄くまで研削する。

②研磨剤:アランダム(アルミナ研磨剤:白い)は砥粒が割れにくく長持ちするが切削性にはやや劣る。カーボランダム(炭化珪素研磨剤:黒)は研削中に砥粒が割れて鋭い割れ口が形成されるため切れ味が良いが、割れて細粒化してしまいあまり長持ちしないという特性があるとされる。切れ味の違いがどの程度かは、両方使って比べてみるとよい。粘土質の削り粉が出るような試料の研削では、砥粒の切れ味が落ちる前に粘土を洗い流す(研磨剤も一緒に洗い流す)必要があるので、研磨剤の持続性はあまり問題にならない。削り粉の粘りが少ない試料(花崗岩やチャートなど)では、研磨剤自体の持続性が作業効率に効いてくるかもしれないが、硬いので経験上は切削性のほうが効いているように感じる。

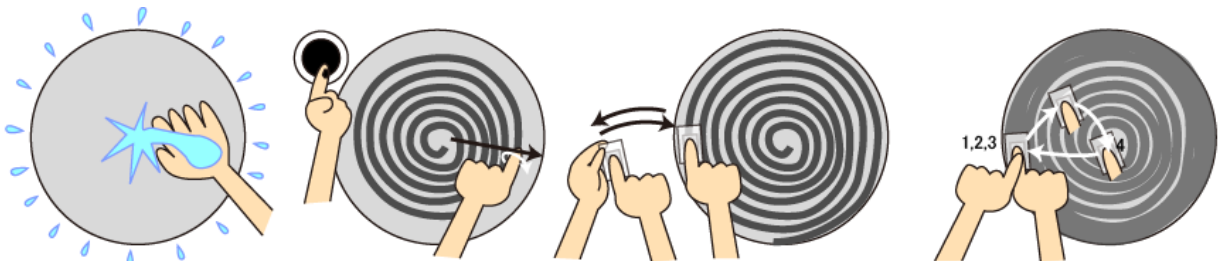
③④飛ばしたり貼りついたりするのは、研磨剤と水分と削り粉の混合比が適切でないことと、指と薄片との間の摩擦が試料と鉄板の間の摩擦や遠心力に負けるからであると考えられる。コツとして、

- \* 薄片を抑える指(通常は、右利きなら右手の人差し指)と、薄片の背中には、研磨剤や削り粉をつけない。ついたらすぐバケツの中で指や薄片を洗う。汚れていると滑ってもっていかれやすいので、きれいにしておく(きれいな水で濡れている分には大抵は大丈夫)。そして、力を入れて押さえて摺る(垂直応力を加えて摩擦力を得る)。

- \* 研磨盤に水を多く補給しすぎないこと。多すぎる水は盤の遠心力で外に飛び散ってしまうが、その際に研磨剤も一緒にもって行ってしまう。結果として、研磨剤が不足しがちで、試料と盤の摩擦が大きくなる。盤が回転した状態で遠心力で水があらかた飛び散った状態が適正な水分量で、そこに適量の研磨剤を補給すればよい(研磨剤の後に水ではなく、水の後に研磨剤)。
- \* 研磨剤は乾いた状態でなく、茶碗で水に浸した状態のものを用意し、適量を指にとって盤に塗布するのがお薦め。メリットは、毎回適量を供給しやすい、回転したまま盤全体に塗布できる、湿っているので供給した研磨剤が飛び散らずロスが少ない、などが挙げられる。

⑤⑥研削中は盤の外縁に薄片を留めたまま押さえ、定期的に盤の内側に薄片をまわして、内側の未使用の研磨材+水分を外縁部に引っ張ってくる。とくに柔らかい石では、あつというまに削り粉が出て粘り気が増してくる(水分も失われていく)ので、粘り気が増す前に粉を回すのがコツ。水分の蒸発が早い場合は、研削しながら盤の中央部に左手で**数滴**水を落として補給するとよい(外縁に落とすと水も研磨剤も飛散し失われる)。

⑥⑦粉をまわしたり、盤を洗って更新するタイミングは、手応えよりもむしろ音を聞いて判断する。新鮮な研磨剤で磨き始めた頃は「シャリシャリ」という音がするが、研磨剤が細かくなり削り粉が増してくると「シュルシュル」と(あつという間に)変わってくる。粉を回して「シャリシャリ」が回復する間は、定期的に粉を回して研削を続ける。回しても「シャリシャリ」が回復しなくなったら、薄片を盤から離して、中央に水を何度かかけて盤を洗う。手応え(粘り気)が増したらあつという間に持っていかれるので、できるだけ手応えが増す前に音で粉の状態を判断して洗う。水をかけただけでは粘っこい削り粉がなくなる時は、水をかけながら手でぬぐって洗う。削り粉の粘土分がなくなって盤の表面に金属鉄の色が見えるまできれいに洗ってから研磨剤を塗ること。かなり頻繁に洗うことになるので、一度に塗布する研磨剤の量は少なくてよい(薄く盤全体に行きわたる程度。煮豆や枝豆の大きさが目安)。



研磨盤を回したまま、バケツの水を手に取り、盤の中央に何度か撒いて、削り粉を洗い流す。

水に浸した研磨剤を指にとり(大豆の大きさ)、回転する盤上に内側から外側へ塗布する。指をひねりながら塗ると粉を均質に塗布できる。

左手で縁を持ち、右手の人差し指を薄片の中央にあてて脇から盤上に薄片を持っていく。研削中は右手の人差し指1本で抑える。薄片を取り出す際は、盤の端に出たガラスの縁を左手でつまんで回収。ガラスの背面と押さえる指はよく洗い、粉をつけないように。

盤の縁に薄片を留めて研削しながら、定期的に中央に向かって薄片を滑らせ、盤の内側に残った新鮮な研磨剤を縁に持ってくる。3拍子か4拍子でリズムよく、右手の人差し指に左手の指をあてて押さえると、力が入りよく削れる。

- \* 盤を洗う際に、毎回薄片の片減りチェックを行う。個人の癖もあるだろうが、多くの場合奥側より手前側(盤の進行方向側)のほうが早く削れるので、厚い側を手前にするとよい。左右の厚さの差は、指の力で調整するか、速度が速い外側に厚いほうを持っていく。なお、薄片は常に縦(スライドガラスの長軸が盤の接線方向)にするのがよい。横向きだと片減りの度合いが著しくなり調整が難しい。柔らかめの石だと盤は30秒から1分間隔くらいで洗うので、その度に片減りチェックして対処・修正すれば致命的な片減りや摺りすぎには至らない。

⑧各粒度の研磨剤でどこまで薄くしたら次の粒度に移ればよいかは、以下を目安にできる。

#220 80-90  $\mu\text{m}$  まで(石英や斜長石の干渉色が空色～緑色)

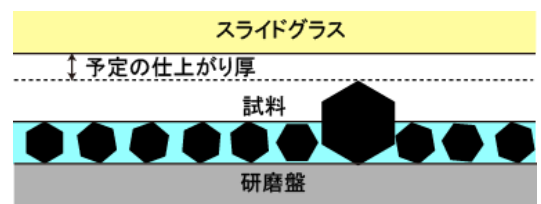
#600 50-60  $\mu\text{m}$  まで(石英や斜長石の干渉色が橙色～赤紫色)

#1000(ガラス板) #1000で仕上げる場合は30  $\mu\text{m}$  まで(石英や斜長石の干渉色が白～明灰色)  
より細かい研磨剤で仕上げる場合、#1000は約40-45  $\mu\text{m}$  まで(黄色)

- \* 干渉色は結晶の向きでも異なるので、視野の中で最も派手な(複屈折が高い)干渉色を目安にする。
- \* 通常は、有色鉱物の干渉色に惑わされず、無色鉱物のみを目安にすること。観察している鉱物が無色鉱物か有色鉱物かは、オープンニコルで判断する(無色鉱物は屈折率が低く凹んで見え、有色鉱物は屈折率が高く浮き上がって見える。有色鉱物でも無色のものが少なくないので、オープンでの色調だけで判断しないよう注意する)。
- \* 花崗岩など粗粒な無色鉱物ばかりでできていることが明らかな岩石でない限り、厚さは偏光顕微鏡で確かめるのがよい。偏光板に挟んで肉眼で見えるだけでは、どの色が何の鉱物の干渉色かわかりづらい、細粒な岩石では的確な厚さの判断ができない。
- \* 顕微鏡のステージに研磨剤を残さないよう、チェックする際に薄片をよく洗い、チェック後に顕微鏡のステージを拭くこと。

### (10)※厚さの目安の根拠:

試料に比較的柔らかい鉱物が含まれる場合は、研磨剤が試料に深く食い込む。その時点での試料の厚さが研磨剤の粒径に対して十分でなければ、完成時に薄片に穴があいたままになってしまう(粗い粉で摺りすぎた薄片にしばしばみられる)。そこで、薄片に研磨剤が深く食い込んででも予定の仕上がり厚さに達しない段階で、より細かい研磨剤に移るのがよいと思われる。研磨剤の粒径には一定のパラツキがあり、平均的な粒径(下の表の「累積 50%」)よりも粗いものも含まれる。最も粗い粒子(下の表の「累積 3%」を参考)は平均的な粒径のおよそ2倍と予想される。そのため、薄片が平均的な粒径の砥粒に支持されているときに最も粗い粒子が試料に食い込むのは、砥粒の平均的な粒径と同程度の深さと仮定できる。そこで、予定仕上がり厚(30 μm)に砥粒の平均的な粒径を足した厚さ以上に摺らなければ、粗粒な粒子が食い込んで大抵は仕上がりに影響ないと予想される。



なお、参考にした JIS の粒度分布は、あくまで製品の許容範囲で、実際の研磨剤の粒度分布ではない。また、砥粒は割れていくので、補給直後でなければ極端に粗粒な砥粒の存在確率はもっと低いと推定される。以上から、前述の厚さの目安は安全側にあり、経験上はもう若干攻めても支障ないように思う。

精密研磨用微粉の粒度分布(電気抵抗試験方法)  
(JIS R6001 表 8 より抜粋)

単位 μm

粒度	最大粒子径 (d <sub>v-0</sub> 値)	累積 3%点 の粒子径 (d <sub>v-3</sub> 値)	累積 50%点 の粒子径 (d <sub>v-50</sub> 値)	累積 94%点 の粒子径 (d <sub>v-94</sub> 値)
#240	127 以下	103 以下	57.0±3.0	40 以上
#600	53 以下	43 以下	20.0±1.5	13 以上
#1000	32 以下	27 以下	11.5±1.0	7.0 以上
#1500	23 以下	20 以下	8.0±0.6	4.5 以上
#2000	19 以下	17 以下	6.7±0.6	4.0 以上
#3000	13 以下	11 以下	4.0±0.5	2.0 以上
#4000	11 以下	8.0 以下	3.0±0.4	1.3 以上
#8000	6.0 以下	3.5 以下	1.2±0.3	0.6 以上 <sup>(2)</sup>

注<sup>(2)</sup> 累積高さ 75%点の粒子径 (d<sub>v-75</sub> 値)

～～～ 以下は植田注釈 ～～～

最大粒径:この粒径より粗いものは含まれない

累積 3%点:3%の粒子がこの粒径より粗い

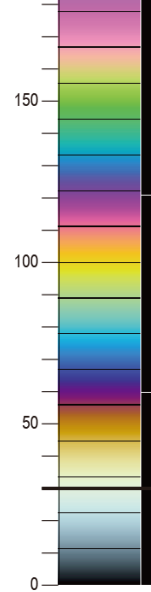
累積 50%点:中央値(おおむね平均と捉えてよい)

累積 94%点:6%の粒子がこの粒径より細かい

「以上」「以下」は、「製品の品質はこの範囲におさめなさい」という意味。実際の製品の粒径のばらつきは表よりかなり小さいと思われる。

石英 (≒斜長石) の干渉色

厚さ (μm)



# 研磨剤の粒度と薄片の厚さ

～どこまで攻めて大丈夫か～

v.2: 2017

