



JAEA-Testing

2020-002

DOI:10.11484/jaea-testing-2020-002

東濃地科学センターにおける岩石薄片作製方法

Fabrication of Rock Thin Section in the Tono Geoscience Center

代永 佑輔 吉川 清盛 島田 耕史

Yusuke YONAGA, Kiyotaka YOSHIKAWA and Koji SHIMADA

核燃料・バックエンド研究開発部門

東濃地科学センター

地層科学研究部

Geoscientific Research Department

Tono Geoscience Center

Sector of Nuclear Fuel, Decommissioning and Waste Management Technology Development

JAEA-Testing

May 2020

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<https://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Institutional Repository Section,
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2020

東濃地科学センターにおける岩石薄片作製方法

日本原子力研究開発機構
核燃料・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部

代永 佑輔^{*}、吉川 清盛^{*}、島田 耕史

(2020年2月12日受理)

岩石薄片の作製は地質学的研究の最も基礎的で重要な技術の一つである。岩石薄片は岩石の微細構造の観察、電子プローブマイクロアナライザおよびレーザーアブレーション付き誘導結合プラズマ質量分析装置といった機器分析用試料として使用されている。本稿は日本原子力研究開発機構東濃地科学センターで実施する岩石薄片の作製方法の手順を報告するものである。本作製法には初めて作業する者や経験の乏しい者でも作業をイメージして薄片作製ができるように、一般的な岩石薄片の作業手順に加え、当センターで実施している工夫や注意点のほかに使用器具のメンテナンスについても記した。

東濃地科学センター：〒509-5102 岐阜県土岐市泉町定林寺 959-31

※ 技術開発協力員

* 株式会社ペスコ

Fabrication of Rock Thin Section in the Tono Geoscience Center

Yusuke YONAGA[※], Kiyotaka YOSHIKAWA^{*} and Koji SHIMADA

Geoscientific Research Department, Tono Geoscience Center,
Sector of Nuclear Fuel, Decommissioning and Waste Management Technology Development
Japan Atomic Energy Agency
Izumi-cho, Toki-shi, Gifu-ken

(Received February 12, 2020)

Rock thin sections are used for instrument analyses such as EPMA, LA-ICP-MS as well as microstructural observations by optical microscope. Fabrication of thin section, reported here, is one of the fundamental techniques in classical and state-of-the-art geological research. This report provides not only general procedure but also some ingenuity, precautions and equipment maintenance with visual exemplification for first-time or inexperienced users in the Tono Geoscience Center.

Keywords: Rock Thin Section, Cutting, Polish, Resin Fixing

※ Collaborating Engineer

* Pesco Co., Ltd.

目 次

1. はじめに	1
2. 岩石の切断（一次切断）	2
2.1. 概要	2
2.2. 使用器具	2
2.3. 手順	2
3. 岩石チップ作製および貼付	4
3.1. 概要	4
3.2. 使用器具	4
3.3. 手順	5
4. 岩石切断（二次切断）	10
4.1. 概要	10
4.2. 使用器具	10
4.3. 手順	10
5. 薄片研磨・琢磨	12
5.1. 概要	12
5.2. 使用器具	12
5.3. 手順	13
6. カバーガラス貼付	17
6.1. 概要	17
6.2. 使用器具	17
6.3. 手順	17
7. おわりに	19
参考文献	19

Contents

1.	Introduction.....	1
2.	Primary cutting.....	2
2.1.	Overview.....	2
2.2.	Instrument.....	2
2.3.	Procedure.....	2
3.	Rock chip fabrication and application.....	4
3.1.	Overview.....	4
3.2.	Instrument.....	4
3.3.	Procedure.....	5
4.	Secondary cutting.....	10
4.1.	Overview.....	10
4.2.	Instrument.....	10
4.3.	Procedure.....	10
5.	Polish.....	12
5.1.	Overview.....	12
5.2.	Instrument.....	12
5.3.	Procedure.....	13
6.	Cover glass attached.....	17
6.1.	Overview.....	17
6.2.	Instrument.....	17
6.3.	Procedure.....	17
7.	Closing.....	19
	References.....	19

1. はじめに

岩石薄片は 19 世紀に発明された偏光顕微鏡を用いて岩石の微細な構造の観察および鉱物の存在比を求める際に使用されてきた。また、近年では電子プローブマイクロアナライザ (EPMA) やレーザーアブレーション付き誘導結合プラズマ質量分析装置 (LA-ICP-MS)、X 線分析顕微鏡 (XGT) など岩石中の鉱物の元素組成や同位体比を求める分析にも岩石薄片が使用されることがあり、薄片作製は地質学的研究を行う上で非常に重要な役割を担う「古くて新しい」技術である。

岩石薄片は岩石試料を切断・成形し、スライドガラスに貼付の後、0.02mm 程度の厚さになるまで研磨して作製する。これにより岩石試料は光を透過し、偏光顕微鏡下での観察が可能となる。また、表面を平滑に琢磨することで、EPMA や LA-ICP-MS などの分析が可能となる。

このような岩石の切断・成形や研磨・琢磨作業には熟練の技術を要するが、作業手順や細かいノウハウがまとめられたマニュアルなどは少なく¹⁾²⁾³⁾、経験の乏しい者には難しい作業となっている。

本稿では、経験の乏しい者が薄片作製する時の参考となるため、日本原子力研究開発機構東濃地科学センターで熟練者が岩石薄片を作製する際の手順や留意点を技術の継承の観点でまとめたものである。なお、各器具の使用方法については、それぞれの説明書に従うこと。手順のフロー図を図 1.1 に示す。

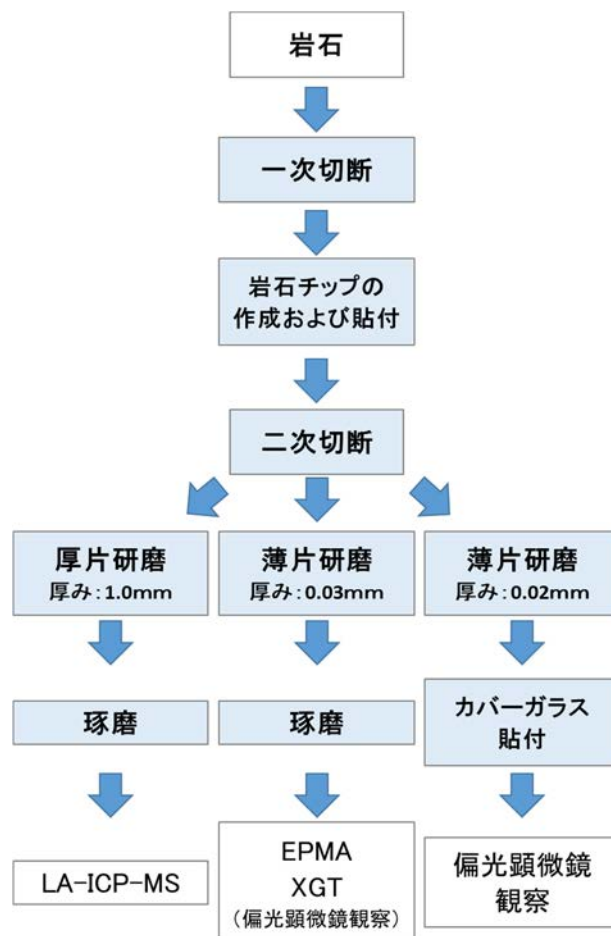


図 1.1 薄片作製の手順のフロー図

2. 岩石の切断（一次切断）

2.1. 概要

岩石試料を後述する精密切断機で成形できる大きさにグラウンドカッターで切断する。なお、切断後は切断面を観察し、薄片を作製する箇所を決定する。採取した試料が大きかったり、試料が歪な形をしていたりなどでグラウンドカッターにセットできない場合はハンマーなどで適当な大きさ・形に岩石を割ってから切断を行う。岩石をハンマーで割る時は岩石片が飛んだりするので、保護メガネ・保護手袋を着用すること。

2.2. 使用器具

岩石の切断（一次切断）に使用する器具の一覧を表 2.1 に示す。ハンマーは岩石試料が大きい場合にのみ使用する。

表 2.1 岩石の切断（一次切断）に使用する器具類

品名	用途
グラウンドカッター（株式会社マルトー製）	岩石試料の切断
ハンマー（必要に応じて）	岩石試料の成形
保護手袋	安全対策
保護メガネ	

2.3. 手順

(1) 岩石の小割

ハンマーなどを用いて、グラウンドカッター（図 2.1）にセットできる大きさ・形に岩石試料を割る。岩石を削る際には岩石片が飛び散る恐れがあるので、保護メガネを着用すること。

※1：採取した試料が小さく、グラウンドカッターにセットできる場合は省略してもよい。

※2：精密切断機にセットしやすい形になるように割ると後の工程が容易となる。

(2) グラウンドカッターによる切断

グラウンドカッターにセットして 50×100×150 mm 程度以下の大きさになるように切断する。試料の焼き付き防止のため、原則は水を流して切断するが、膨潤性のある試料や水で流失してしまうような試料などは水を使わずに切断（乾式切断）を行う。

※1：試料は固定器具を用いて動かないように少なくとも 3 点でしっかり固定すること（図 2.2-1～図 2.2-3）。

※2：試料の送りが速いと刃が止まったり、曲がったり、回転が停止したりする恐れがあるため切断時の音が変わったり、モーターが熱くなったりした時は試料の送り速度を落とすこと。

※3：刃の回転数は原則 1400 rpm とする。

※4：使用後は刃の錆びを防ぐため、空転させて乾燥させること。

※5：切断中に試料が割れたり、崩れたりする恐れがある試料は事前に表面に樹脂を塗布して固めること。樹脂の作成手順は 3.3 の (3) を参照。



図 2.1 グランドカッター



図 2.2-1 固定器具全景
①のレバーを回転させて試料の幅に合わせる。

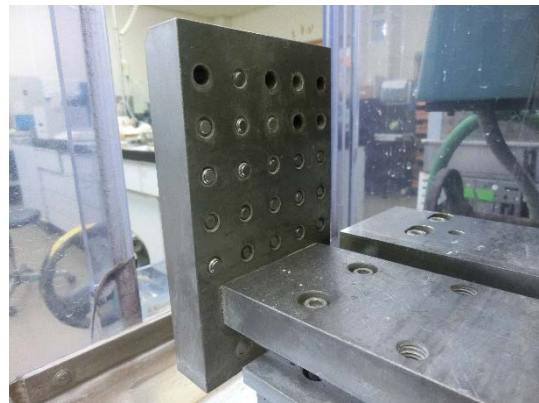


図 2.2-2 固定器具 (ねじ部)
試料の形に合わせてねじを締めて固定する。



図 2.2-3 試料固定の一例

3. 岩石チップ作製および貼付

3.1. 概要

岩石チップを作製・研磨する。適正な大きさに切断した岩石試料を精密切断機でスライドガラスに貼り付けられる大きさに切断・成形する。その後、角型モールドを用いて試料を樹脂固定した上でスライドガラスに貼り付ける面（観察・分析面）を鏡面研磨し、貼り付ける。

3.2. 使用器具

岩石チップの作製および貼付に使用する器具類を表 3.1 に示す。

表 3.1 岩石チップの作製および貼付に使用する器具類

品 名	用 途
型石・型ガラス	
精密切断機 (Secotom-15 ; Struers社)	岩石チップ作製
ミニラボカッター (MC-110 ; 株式会社マルトー)	
ボンドE-205 (コニシ株式会社)	試料の固定
角型モールド (株式会社マルトー)	
真空乾燥器	樹脂の浸透・硬化
平面研磨用研磨機 (パワーラップ ML-412 ; 株式会社マルトー)	
ダイヤモンドパッド (#80、#220、#600)	
研磨用ガラス板 (#2000用)	鏡面研磨
メタルワークS (JXTGエネルギー株式会社)	
研磨材 (#2000)	
スライドガラス (48×28 mm、厚さ : 1.2~1.5 mm)	
ボンドEセット (コニシ株式会社)	スライドガラス貼付
固定器具 (平均加圧式 マウントプレス ; 株式会社マルトー)	
固定用ガラス板	

3.3. 手順

<岩石チップの作製>

(1) 岩石薄片作製位置の決定

グラウンドカッターで切断した岩石試料の切断面を観察して、顕微鏡観察や分析を実施する位置を決め、薄片を作製する箇所とする。

※1: 型石(図 3.1 上)を使って決定した位置を水性サインペンなどでマークする(図 3.2)。

※2: 型ガラス(図 3.1 下)に収まるように切断するため、マークした線の外側で切断するか、内側で切断するかを判断する。



図 3.1 型石・型ガラス



図 3.2 試料マーク状況

(2) 精密切断機による切断(岩石チップの成形)

試料を精密切断機(Secotom-15; 図 3.3)にセットし、前の工程でつけたマークに沿って切断する。この時、観察・分析面を上側にしてセットすると観察部分が切断中に欠けることなく切断できる。

※1: 試料のセットは専用の固定器具を用いて行い、ガタつきがないようにしっかりと固定すること(図 3.4)。固定しにくい場合は、ミニラボカッター(図 3.5)で切断し、固定できる形にすること。

※2: 切断中はモーター負荷に注意すること。負荷が大きい(80%以上)場合は送り速度を落とすこと。

※3: ダイヤモンドブレードの切れ味が悪い場合はドレッシング棒(砥石)を用いて刃先をドレッシングすること。

※4: 使用後は刃の錆びを防止するため、空転して乾燥させること。



図 3.3 精密切断機



図 3.4 試料固定の一例

①の部分のねじで台座に固定し、②を締めて③を固定して試料を固定する。



図 3.5 ミニラボカッター

(3) 岩石チップの樹脂包埋

作製したチップを乾燥後、樹脂で包埋する。これにより、チップ片研磨時に研磨表面が四隅まで湾曲なく平滑に研磨できているか確認しやすくなる。加えて、薄片研磨時に端部の細かい割れも防止できる。

樹脂はボンド E-205（コニシ株式会社製）を使用する。主剤と硬化剤を 3：1 の質量比で混合した後、角型モールドに観察・分析面を下にして岩石試料を入れ、岩石チップの 1/2 程度浸かるまで樹脂を流し込む（図 3.6）。岩石試料の樹脂から出ている部分は樹脂を塗布する。

※1：角型モールドの内側にあらかじめシリコン系剥離剤を塗布しておくこと、樹脂硬化後に取り出しやすくなる。

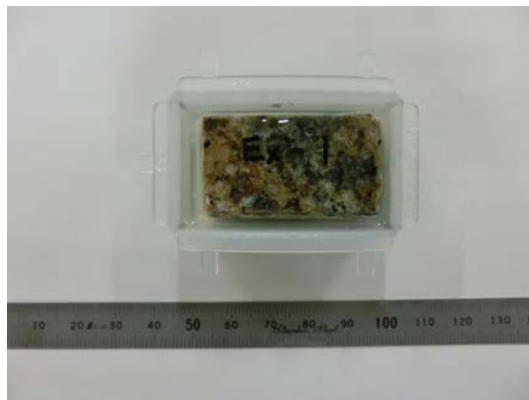


図 3.6 包埋の一例

(4) 樹脂の浸透・硬化

真空乾燥器を用いて真空引きを行う（図 3.7）。これにより、微細な亀裂内にも樹脂が浸透し、試料を固定することができる。真空状態を解除して、真空乾燥器の温度を 50°C に設定し、2 時間程度静置し、樹脂を硬化させる。

※1：樹脂を試料内部まで浸透させるため、真空引きの時は真空引き→真空解除を 3 回程度繰り返すこと。



図 3.7 真空乾燥器

<鏡面研磨>

(5) #80 研磨機研磨

平面研磨用研磨機に#80 のダイヤモンドパッド (図 3.8) を取り付ける。グラインダーで不要な樹脂を削り飛ばした後、チップ片およびダイヤモンドパッドを水で濡らし、ダイヤモンドパッドを平面研磨用研磨機で回転させ、四隅の樹脂が均等に研磨できている状態になるまで観察・分析面を研磨する (図 3.9)。

平面研磨用研磨機で研磨すると中心部が厚く、周辺部が薄くなる傾向があり、チップの研磨面は緩やかな凸面となりやすい。

- ※1：研磨を行っていくとパッドが乾いてくるので、適宜霧吹きで水分を追加する。
- ※2：乾式切断を行っている際は水ではなく潤滑油 (メタルワーク S) を使用すること。
- ※3：削り粉 (樹脂分) が研磨の妨げになるので、適宜岩石チップを洗浄して削り粉を洗い流す。また、パッドの番手を変える時は岩石チップを洗浄してから研磨を行うこと。
- ※4：ダイヤモンドパッドが目詰まりして研磨が進まない時にはドレッシング棒でパッドの表面を研磨すること。

(6) #220 研磨機研磨

#220 のパッドでも#80 と同様の手順で周辺の樹脂および岩石表面が均一に研磨できていることが確認できる状態まで研磨する。

(7) #600 研磨機研磨

#600 のパッドでも同様の手順で研磨する。研磨が進むと周辺の樹脂および岩石表面の傷がなくなり、きれいになってくる。その状態の上で、再度四隅の樹脂まで均一に研磨できていることが確認できるまで研磨する。

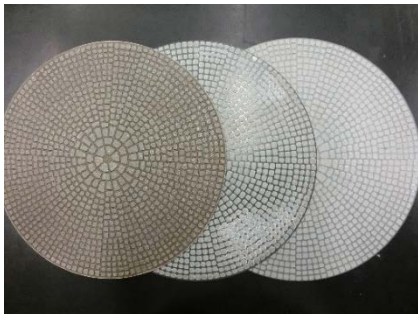


図 3.8 ダイヤモンドパッド
左から#80、#220、#600



図 3.9 ダイヤモンドパッドを用いた研磨

(8) #2000 ガラス板研磨

#2000 用研磨ガラス板に#2000 の研磨材を載せ、チップ片を研磨材と潤滑油（メタルワーク S）を用いて研磨する（図 3.10）。潤滑油を使用するのはチップ片とガラス板の固着が少なく、水よりも滑らかに研磨できるためである。

ガラス板ではチップの研磨面は中心部から研磨されていく。スライドガラス貼付面の鏡面研磨は表面が湾曲なく平滑になるまで研磨する。研磨が完了したら、岩石チップを洗浄する。

※1：研磨を続けているとガラス板が乾いてくるので、スポイトで油分を追加する。

※2：研磨用のガラス板の片減りを防ぐため、ガラス板全体での研磨を心がけること。また、片減り対策のため、専用の岩石を用いてガラス板全体を定期的に研磨する。

※3：洗浄後は十分に試料を乾燥させる。

(9) 研磨面の確認

湾曲がなく平滑になっていることを確認するのは、研磨面にブラインドなど直線上のものを研磨面に映す方法がある。図 3.11 のように直線状に観察される場合は研磨面が平滑である。歪んだ状態で観察される場合は研磨面が平滑でないので、引き続き研磨を行うこと。



図 3.10 ガラス板研磨



図 3.11 研磨面状況（平滑な時）

<スライドガラス貼付>

(10) 樹脂の作製

スライドガラス接着用の樹脂を作製する。樹脂はボンド E セット（コニシ株式会社製）を使用し、主剤と硬化剤を 1.2:1 の質量比で気泡が入らないようにゆっくりと混合する。

※1：チップとスライドガラスの間に気泡が入ると顕微鏡観察に支障が出ることがある。

(11) 樹脂塗布

樹脂を研磨面とスライドガラス表面に塗布する。

※1：へらを使って樹脂を両面ともに強くこすりつけ、気泡が研磨面に付着しないようにする。

(12) スライドガラス貼付

さらに樹脂を研磨面に塗布し、上からスライドガラスを被せ、端部～チップ中央～端部に向かってスライドガラスを上から押して、気泡を抜きながら密着させる（図 3.12）。

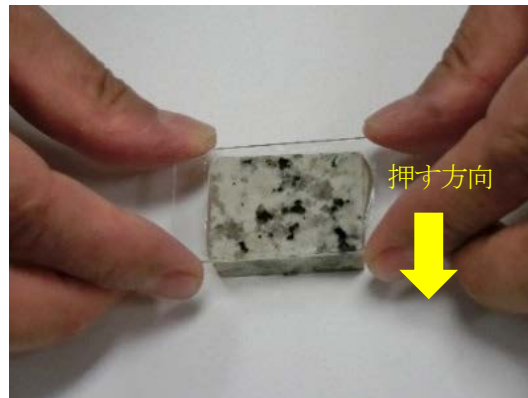


図 3.12 スライドガラス貼付

(13) 樹脂の硬化

固定器具を用いて岩石チップを固定（図 3.13）し、真空乾燥器の温度を 35℃に設定し、15 時間以上静置する。この時、固定器具と試料の間に固定用ガラス板をセットし、器具の力が分散するようにすること。

※1：50℃以上の温度で短時間に硬化させる方法もあるが、35℃でゆっくり硬化させることにより、岩石チップの細かい割れ目などから生じる気泡の発生を抑えることができる。



図 3.13 岩石チップ固定の一例

4. 岩石切断（二次切断）

4.1. 概要

スライドガラスに接着した岩石チップを二次切断機で厚さ約 0.5 mm に切断する。

4.2. 使用器具

二次切断に使用する器具を表 4.1 に示す。

表 4.1 岩石切断（二次切断）に使用する器具類

品 名	用 途
二次切断機	岩石チップの二次切断
ダイヤモンドペン	試料名の記載

4.3. 手順

(1) 岩石チップのセット

スライドガラスに接着した岩石チップを二次切断機（図 4.1）にセットする。セットは Vacuum スイッチをオンにして、台座に貼り付け固定する（図 4.2）。

※1：スライドガラス表面に樹脂などの付着物があると真空引きができず、固定されない
ので、スライドガラス表面はエタノールで洗浄すること。

※2：水を流しながら切断するのが基本とするが、一次切断で乾式切断を行った場合は、
二次切断でも乾式切断を行う。



図 4.1 二次切断機



図 4.2 試料のセット例

(2) 岩石チップの切断

ハンドルで台座を動かし、岩石チップを 0.5 mm 程度の厚さに切断する（スライドガラスを含めると 1.8 mm ; 図 4.3）。

※1：岩石チップの厚さは側面ダイヤル（図 4.4）によって調整することができる。

※2：比較的軟らかい試料は厚め（1 mm 程度）に切断すると良い。

※3：台座はできる限り一定速度で動かすことで、岩石へのダメージが少なく、切断面をなめらかにすることができる。

※4：ダイヤモンドブレードの切れ味が悪い場合はドレッシング棒を用いて刃先をドレッシングすること。

※5：使用後は刃の錆びを防ぐため、空転させて乾燥させること。



図 4.3 二次切断後の薄片



図 4.4 厚さ調整用の側面ダイヤル

(3) 試料名記載

薄片のガラス部分にダイヤモンドペンで試料名を記す。

5. 薄片研磨・琢磨

5.1. 概要

二次切断した薄片を研磨機による研磨、ガラス板による研磨、琢磨機による研磨を行って 0.02 mm 程度まで薄く研磨する。水を用いて研磨を行うのが原則であるが、乾式で岩石試料の切断を行った場合などは、潤滑油（メタルワーク S）を用いて研磨する。各工程の試料の厚さの目安を表 5.1 に示す。

表 5.1 各研磨工程を終了する際の基準となる薄片の厚さ

工程	基準となる厚さ・条件
#80 (ダイヤモンドパッド)	1.50 mm
#220 (ダイヤモンドパッド)	1.40 mm
#600 (ダイヤモンドパッド)	1.36 mm (石英：黄色)
#2000 (ガラス板)	表面が均一に研磨できていること 石英：淡黄色～淡灰色

5.2. 使用器具

薄片研磨・琢磨に使用する器具の一覧を表 5.2 に示す。

表 5.2 薄片研磨・琢磨に使用する器具類

品 名	用 途
平面研磨用研磨機 (パワーラップ ML-412 ; 株式会社マルトー)	
ダイヤモンドパッド (#80、#220、#600)	
研磨用ガラス板 (#2000用 ; 炭化ケイ素砥粒)	薄片研磨
メタルワークS (JXTGエネルギー株式会社)	
研磨材 (#1000、#2000)	
琢磨機 (LaboForce-Mi ; Struers社)	
研磨クロス (3μm用、1 μm用、0.25 μm用)	薄片琢磨
ルブリカント (潤滑材)	
ダイヤモンドペースト (3 μm、1 μm、0.25 μm)	
超音波洗浄器	薄片の洗浄
偏光板または偏光顕微鏡	厚さの確認
マイクロメーター	

5.3. 手順

<研磨機による研磨>

(1) #80 研磨機研磨

研磨機に#80のダイヤモンドパッドを取り付ける。二次切断した岩石チップおよびダイヤモンドパッドを水で濡らす。ダイヤモンドパッドの回転数は300 rpm程度。吸盤をスライドガラスに貼り付けて吸盤を持ちながら片減りしないように研磨する(図5.1)。

- ※1: 研磨を行っていくとパッドが乾いてくるので、適宜霧吹きで水分を追加すること。
- ※2: 乾式で切断した場合は、水ではなく潤滑油(メタルワークS)を使用すること。
- ※3: 吸盤でスライドガラスを固定し、研磨したい箇所を重点的に指で押さえることで、研磨による厚さ調整がしやすい。
- ※4: ダイヤモンドパッドの片減りを防ぐため、パッド全体を使って研磨すること。



図 5.1 ダイヤモンドパッドを用いた研磨

(2) 岩石薄片の厚さの確認

試料の厚さがスライドガラスを含めて1.50 mmになるまで研磨する。研磨した後は試料を超音波洗浄器で洗浄する。

- ※1: マイクロメーター(図5.2)を使用して薄片の両端・中央の最低5か所(図5.3)計測し、厚さと片減り具合を適宜確認しながら行う。
- ※2: 片減りしている場合は、厚い部分のみを押さえて研磨する。



図 5.2 マイクロメーター

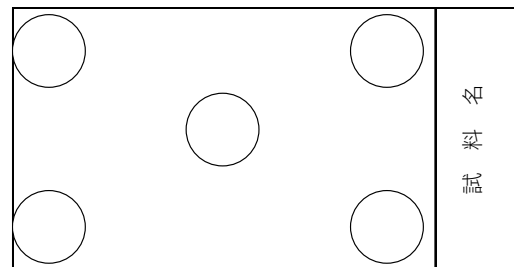


図 5.3 薄片の厚さの計測位置

○: 計測位置

(3) #220 研磨機研磨

#220のダイヤモンドパッドを取り付け、試料の厚さがスライドガラスを含めて1.40 mmとなるように、#80と同様の手順で研磨する。研磨が完了したら、試料を超音波洗浄機で洗浄する。

(4) #600 研磨機研磨

#600のダイヤモンドパッドを取り付け、#80と同様の手順で研磨する。この時の回転数は100 rpm以下にしてゆっくり研磨する。厚さの確認は偏光板(図 5.4)または偏光顕微鏡を用いて行う。試料中の石英が一番分かりやすく、直交する方向の2枚の偏光板の間に薄片を入れて観察した時(クロスニコル)、干渉色が濃い黄色になるまで研磨する(試料の厚さは0.04 mm程度)。石英がない場合は斜長石の干渉色でも確認できる。石英と同様、干渉色が濃い黄色になるまで研磨する。図 5.5 右や図 5.6 右のように青～赤色の干渉色を示す場合はまだ厚いので研磨を続けること。

また、角閃石や輝石など多色性のある鉱物では、1枚の偏光板で確認した時(オープンニコル)に光を透過し、緑色になるまで研磨する。図 5.7 右のように光をあまり透過せず、濃い緑灰色を示す場合は研磨を続けること。

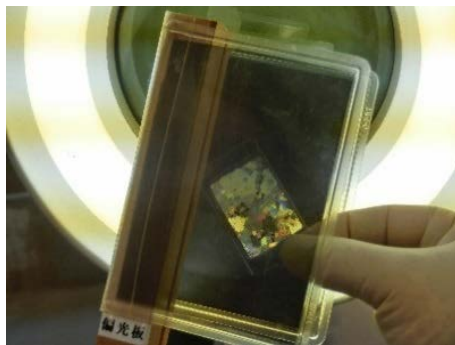


図 5.4 偏光板を用いた厚さの確認

<ガラス板による研磨>

(5) #2000 ガラス板研磨

研磨用ガラス板に#2000の研磨材を載せ、研磨材と潤滑油(JXTG エネルギー株式会社製メタルワーク S)を混ぜ合わせて試料を研磨する(図 5.8)。研磨を続けているとガラス板が乾いてくるので、スポイトで油分を追加する。

※1: 潤滑油を用いるのは試料と研磨用ガラス板の滑りをよくするため。

※2: ガラス板の片減りを防ぐため、ガラス板全体で研磨する。

※3: 研磨材が多いと硬度の低い鉱物から選択的にすり減り、平滑にならないため研磨材が多すぎないように注意が必要である。

(6) 岩石薄片の厚さの確認

厚さの確認は偏光板または偏光顕微鏡を用いて行い、試料中の石英をクロスニコルで観察した時、干渉色が淡黄～淡灰色(図 5.5 左)になるまで研磨する。石英が少ない試料の場合は、斜長石や角閃石・輝石で確認する。斜長石ではクロスニコルで確認した時、干渉色が淡灰色(図 5.6 左)、角閃石・輝石ではオープンニコルで観察した時、光を透過し、淡緑色～淡褐色(図 5.7 左)となるまで研磨する。研磨後は試料に付着した研磨材を超音波洗浄機で洗い流す。

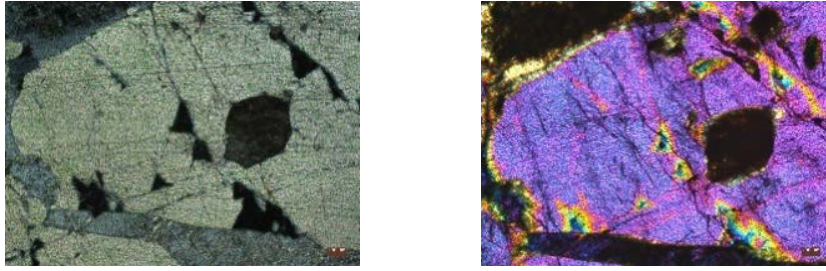


図 5.5 偏光顕微鏡で確認できる薄片の厚さの目安（石英の例；クロスニコル）
左：厚さ 0.02 mm 程度、右：0.08 mm 程度
右の写真の状態ではまだ薄片が厚く観察には適さないので、研磨を続ける。

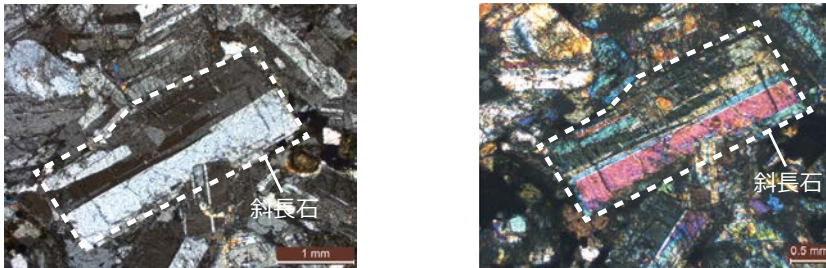


図 5.6 偏光顕微鏡で確認できる薄片の厚さの目安（斜長石の例；クロスニコル）
左：厚さ 0.02 mm 程度、右：0.08 mm 程度
右の写真の状態ではまだ薄片が厚く観察には適さないので、研磨を続ける。

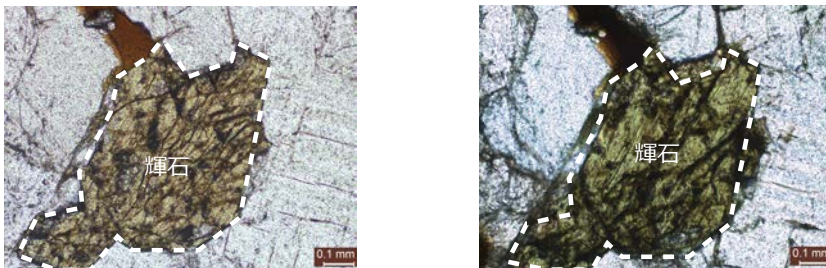


図 5.7 偏光顕微鏡で確認できる薄片の厚さの目安（輝石の例；オープンニコル）
左：厚さ 0.02 mm 程度、右：0.08 mm 程度
右の写真の状態ではまだ薄片が厚く観察には適さないので、研磨を続ける。



図 5.8 ガラス板研磨

<琢磨機による琢磨>

(7) 3 μm 琢磨

琢磨機 (図 5.9) に研磨クロス MOL (図 5.10) を取り付ける。研磨クロスをルブリカントで湿らせ、3 μm のダイヤモンドペーストを約 1 cm の長さの量を塗布する。

※1: 塗布は研磨クロスに万遍なく行うこと。

(8) 試料セット

試料を保持具に入れ、単独試料板にセットし (図 5.11)、回転数 300 rpm、荷重 2.5 N でルブリカントを滴下しながら 15 分間琢磨する。琢磨後は超音波洗浄機で試料を 1 分間洗浄する。

※1: 荷重の設定 (図 5.12) はアジャスターを押し込み、目盛りを合わせることで行う。

※2: 研磨クロスが乾燥しないようにルブリカントを滴下する (6~10 秒に 1 滴、犬の鼻くらいの湿り具合が目安)。

(9) 1 μm、0.25 μm 琢磨

3 μm と同様の手順で 1 μm で 15 分間、0.25 μm で 30 分間を目安にそれぞれ琢磨する。琢磨する時間は岩石の種類によって適宜変更する。比較的軟らかい岩石は数分間の琢磨を推奨する。

※1: 3 μm、1 μm、0.25 μm それぞれ専用の研磨クロスを使用し、交換する際は保持器・単独試料板 (図 5.11) もダイヤモンドペーストが付着するので、洗浄すること。



図 5.9 琢磨機



図 5.10 研磨クロス MOL
左から 3 μm、1 μm、0.25 μm



図 5.11 左: 単独試料板、右: 保持器



図 5.12 荷重の設定

6. カバーガラス貼付

6.1. 概要

偏光顕微鏡観察用の薄片の場合は、天然樹脂のカナダバルサム・カバーガラス・薄片をホットプレートで温め、カナダバルサムを薄片に均等に伸ばし、カバーガラスを貼り付ける。これにより、光が岩石を通過する時の光学的な悪影響を押さえ、試料を長期間傷や汚れから守り、保管することができる。

6.2. 使用器具

カバーガラス貼付に使用する器具類を表 6.1 に示す。

表 6.1 カバーガラス貼付に使用する器具類

品 名	用 途
カバーガラス (20 mm×40 mm、厚さ : 0.13~0.16 mm)	
ホットプレート (ND-3L ; アズワン)	
カナダバルサム	カバーガラス貼付
千枚通し	
アルコールランプ (トーチ式1芯タイプ)	
スクレーパー	
エタノール (洗浄・アルコールランプ両用)	
シャーレ	薄片の洗浄
歯ブラシ	

6.3. 手順

(1) カナダバルサム塗布

薄片・カナダバルサム・カバーガラスを 50℃のホットプレートで温め、カナダバルサムを千枚通しで小指の爪程度の量を薄片上に載せる (図 6.1)。

※1 : カナダバルサムは指に付着したら、こまめに手を洗うこと。

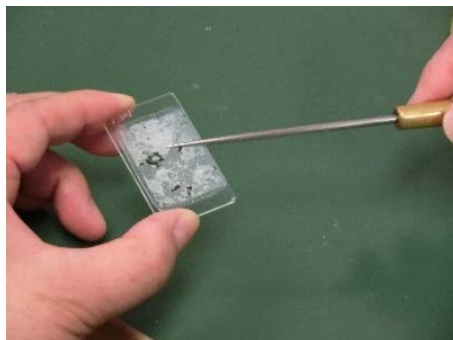


図 6.1 カナダバルサム塗布

(2) カバーガラス貼付

カバーガラスをアルコールランプであぶる（ホコリなどの異物除去のため）。ホットプレート上の薄片にカバーガラスを載せ、ホットプレート上で薄片の中央部から端部へ押し、気泡を追い出す。偏光顕微鏡を用いて気泡が抜けているか確認する。スクレーパーと薄片をアルコールランプで熱し、カバーガラスからはみ出した余分なカナダバルサムを取り除く（図 6.2）。

※1：アルコールランプ使用の際には換気扇を付け、周囲に可燃物を置かないこと。

※2：カバーガラスを強く押すと割れやすいのでゆっくりと軽く押さえて気泡を追い出す。

※3：気泡が残っている場合は薄片を 50℃のホットプレートで温めて繰り返す。

※4：アルコールランプで熱したスクレーパーおよび薄片で火傷しないように注意する。



図 6.2 カナダバルサム除去

(3) カバーガラス固定

カナダバルサムを付けたスクレーパーをアルコールランプで熱して溶剤を飛ばす。溶剤を揮発させたカナダバルサムをカバーガラス周辺に固着させ、カバーガラスを固定する。

(4) アルコール洗浄

十分に冷ました薄片をエタノールの入ったシャーレに浸し、歯ブラシを使って薄片表面に付着している余分なバルサムを洗浄して完成（図 6.3）。

※1：洗浄後、カバーガラスが動かないか確認する。動くようであれば、(3)に戻る。



図 6.3 完成した岩石薄片

7. おわりに

本稿は、東濃地科学センターにおいて偏光顕微鏡観察を行うための岩石薄片の作製にあたって作業者が参照することを念頭に置いて執筆したものである。個々の手順については、既存の作業手順に加えて筆者らが作業中に得たノウハウも合わせて解説した。近年では各研究機関や大学などのホームページで基本的な技術が紹介されていることもある⁴⁾。

しかし、試料の岩種や分析内容によって各工程において必要な対応が異なってくるため、作業者が試料の様子などを見ながらその都度知恵を出して工夫していく必要がある。

参考文献

- 1) 井上 勤 (監) , 岩石・化石の顕微鏡観察, 地人書館, 2001, 315p.
- 2) 力田正一, 岩石薄片の作り方, ニュー・サイエンス社, 1983, 77p.
- 3) 大和田 朗, 佐藤卓見, 平林恵理, 新開発乾式法による脆弱岩石試料の薄片・研磨薄片製作, 地質調査研究報告, vol.64, 2013, pp.221-224.
- 4) 産業技術総合研究所地質試料調製グループ, 2020, <https://unit.aist.go.jp/gsc/mus/mus-gsp/index.html> (参照 2020 年 1 月 17 日)

This is a blank page.

国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質량	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の) 1	1
比透磁率 ^(b)	(数字の) 1	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元 1 をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の 1 は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s
電荷, 電気量	クーロン	C	s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	Vs
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C	K
光束流	ルーメン	lm	cd sr ^(c)
照射量	ルクス	lx	lm/m ²
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq	s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg
酸素活性化	カタール	kat	s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の 1 に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の 1 は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV, 2002, 70, 205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位	
	名称	記号
粘着力のモーメント	パスカル秒	Pa s
表面張力	ニュートンメートル	N m
角加速度	ニュートン毎メートル	N/m
角速度	ラジアン毎秒	rad/s
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³
電表面積	クーロン毎平方メートル	C/m ²
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²
誘電率	ファラド毎メートル	F/m
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s
放射線強度	ワット毎ステラジアン	W/sr
放射線輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)
酵素活性化濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³

表5. SI 接頭語

乗数	名称	記号	乗数	名称	記号
10 ²⁴	ヨット	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²¹	ゼンタ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	zepto	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	yocto	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10 800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648 000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm ² =(10 ¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的關係は、 対数量の定義に依存。
ベール	B	
デシベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオート	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウエル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(a)	Oe	1 Oe△ (10 ³ /4π)A m ⁻¹

(a) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「△」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1 メートル系カラット=0.2 g=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリー	cal	1 cal=4.1858 J (「15℃」カロリー), 4.1868 J (「IT」カロリー), 4.184 J (「熱化学」カロリー)
マイクロン	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m

