

リガク Micro7 HFM-AXIS7

Part 0 立ち上げおよび終了手順マニュアル

東京大学工学系研究科 総合研究機構 ナノ工学研究センター X線実験室

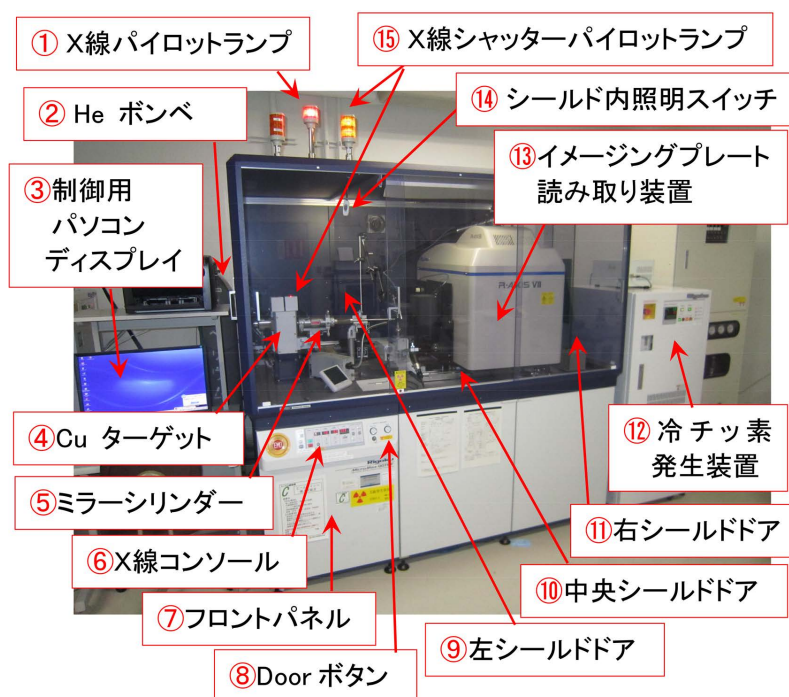


図 0 装置全体図

このマニュアルでは、リガク Micro7 HFM-AXIS7 でタンパク質結晶構造解析をするにあたり、これを立ち上げる手順、および実験終了後の手順を記述します。

立ち上げたあとの測定手順については、Part 1 マニュアルを、得られたデータから分子構造を決定する手順については、Part 2 マニュアルを参照してください。

リガク Micro7 HFM-AXIS7 は、図 0 「④ Cu ターゲット」上の $70 \mu\text{m}$ 径の微小焦点から発生した $\text{CuK}\alpha$ X線 (1.5418 \AA ; 8.0408 keV) を、人工多層膜ミラーで集光かつ単色化して、結晶に照射します。1.2kW という低出力ながら、結晶位置での X線強度 (単位面積あたり) は、従来の集光光学系を持たない装置と比較して数十倍に達します。

2009 年のノーベル化学賞は、タンパク質を作る巨大タンパク質、リボソームの結晶構造解析を行った 3 人の結晶学者、ラマクリシュナン (Venkatraman “Venki” Ramakrishnan; 1952-)、スタイツ (Thomas Arthur Steitz; 1940/8/23-)、ヨナス (ヨーナット; Ada E. Yonath; 1939/6/22-) に与えられましたが、3 人ともリガクの結晶構造解析装置のユーザーです。結晶のスクリーニングが、従来の装置と比較して数十倍の能率で行うことができるのです。従来の装置では $100 \mu\text{m}$ 以下のサイズの結晶では構造決定を事実上諦めなければならなかったのですが、この装置は $10 \mu\text{m}$ 以下の微小結晶で構造決定ができます。

付録 A [p.6] では、吹きつけ冷チツ素発生装置の操作法を、付録 B [p.8] では、実体顕微鏡の使い方を記述します。

目次

第 1 章	装置のエージング (測定の前準備)	1
1.1	冷チッ素発生装置のスタート	1
1.2	フィラメント通電時間の読み取り	1
1.3	結晶とイメージングプレートの距離の設定	2
1.4	X線の電圧, 電流設定	2
1.5	He 置換の開始	3
第 2 章	終了手順	4
2.1	チッ素冷却装置の終了	4
2.2	X線のスイッチオフ	4
2.3	He 供給バルブの閉鎖	4
2.4	結晶の回収	4
2.5	使用時間の記録	4
付録 A	冷却器の温度調整の仕方	6
A.1	設定温度の変更	6
付録 B	顕微鏡の使い方	8
B.1	基本的な使い方	8
B.1.1	照明の点灯と調整	8
B.1.2	対物レンズの選択と位置の調整	8
B.1.3	右目用接眼レンズ視度の調整	9
B.1.4	ズーム倍率の調整	9
B.1.5	ピントの調整	10
B.2	高度な使い方	10
B.2.1	偏光アナライザーの調整	10
B.2.2	明視野, 暗視野モードの切り替え	11
B.2.3	対物レンズ絞りの調整	11
B.2.4	Web カメラの利用	11
索引		13

目次

0	装置全体図	i
1.1	冷チッ素発生装置操作パネル	1
1.2	フィラメント時間を読み取ります	1
1.3	カメラ距離を設定します	2
1.4	X線パワー設定パネル	2
1.5	He ボンベレギュレーター	2
1.6	He 流量計	3
A.1	図 1.1[p.1] の温度設定ユニットを拡大したところ	6
A.2	図 A.1 で「① [MODE] ボタン」を 1 回押したところ	6
A.3	図 A.2 で「② [SEL] ボタン」を 1 回押して設定温度を -120°C に変更したところ	6
A.4	図 A.3 で「⑦ [ENT] ボタン」を押すとオレンジおよび水色で表示された温度が、 -120°C に向けて上昇してゆきます	6
B.1	ニコン SMZ1500 顕微鏡全体図	8
B.2	照明スイッチと明るさ調整ノブ	9
B.3	対物レンズ&レボルバー	9
B.4	接眼レンズ	9
B.5	300 μm マイクロマウント (倍率 10 倍)	9
B.6	ズーム倍率調整ノブ	9
B.7	スクロースの結晶。(a) 平行 (平行) ニコル。(b) クロス (直交) ニコル	10
B.8	明視野-暗視野切り替えノブ	10
B.9	(a) 明視野像, (b) 暗視野像, (c) 中間像	11
B.10	対物レンズ絞り	11
B.11	Web カメラを取り付けたところ	11

第 1 章

装置のエージング（測定の準備）

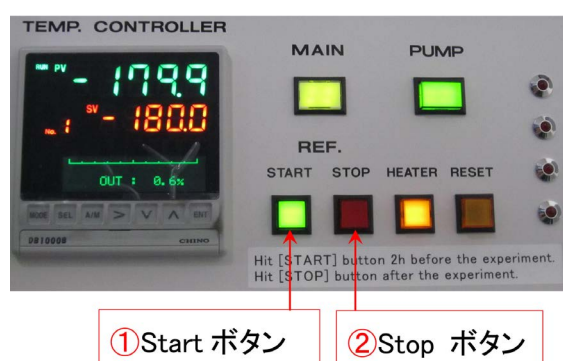


図 1.1 冷チツ素発生装置操作パネル

実験開始の 2 時間前に、冷チツ素発生装置スタート (§1.1)、1.5 時間前に、X 線の出力をセット (§1.4 [p.2])、30 分前に、He 置換の開始 (§1.5 [p.3]) をする必要があります。

1.1 冷チツ素発生装置のスタート

実験を開始する 2 時間前に、装置の右にある冷チツ素発生装置の図 1.1 「① Start ボタン」を押します。「② Stop ボタン」の赤いランプが消え、「① Start ボタン」の緑のランプが点灯します。常温の測定を行う場合は、この操作は必要ありません。吹き付けチツ素の温度は、 -180°C に設定されています。この温度が推奨されていますのですが、設定を変えたり、温度を急速に変化させたりするには、付録 A [p.6] を参照してください。 -180°C まで下がらないときは装置管理者（沖津;27470,090-2203-8789）に連絡を下さい。

1.2 フィラメント通電時間の読み取り

ターゲットは Cu、発生する X 線は $\text{CuK}\alpha$ 線 (1.5418 \AA ; 8.0408 keV) です。これを表紙図 0

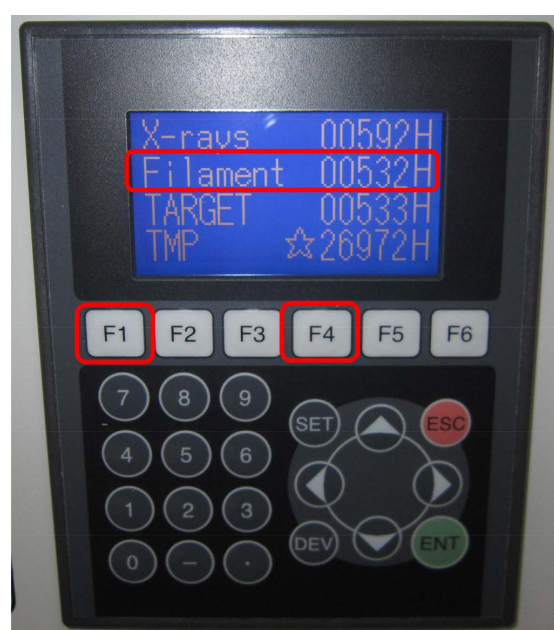


図 1.2 フィラメント時間を読み取ります

「⑤ ミラーシリンダー」内にある人工多層膜ミラー（コーンフォーカルミラー）で 2 回反射させ、結晶位置で直径 $250\mu\text{m}$ の領域に集光させるようになっています。

装置左下、表紙図 0 「⑦ フロントパネル」のドアを開けると、図 1.2 のような X 線設定パネルがあります。Filament の値を読み取り実験ノートに記入して下さい。この画面が表示されたいないときは F4 キーを押すと表示されます。F4 キーが反応しにくいときは、一旦 F1 キーを押してから、F4 キーを押すとうまくいきます。

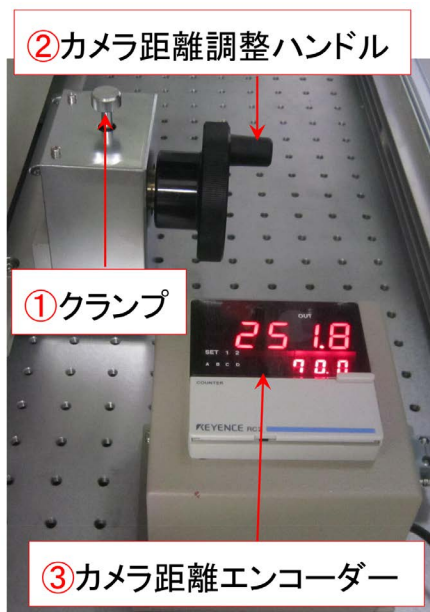


図 1.3 カメラ距離を設定します



図 1.4 X線パワー設定パネル

1.3 結晶とイメージングプレートの距離の設定

図 1.3 は表紙図 0 「⑬ イメージングプレート読み取り装置」の下流側にあるカメラ距離（結晶とイメージングプレートの距離）設定機構を示しています。

「① クランプ」をゆるめると「② カメラ距離調整ハンドル」を手動で回転させることによりカメラ距離を変えることができます。「③ カメラ距離エンコーダー」に示される結晶とイメージングプレートの距離（251.8mm）を読み取り、設定します。設定後は、「① クランプ」を締めて固定します。



図 1.5 He ポンペレギュレーター

1.4 X線の電圧、電流設定

図 1.4 左に赤いフレームで囲った「① VACUUM ボタン」と「② POWER ボタン」は、ユーザーは操作しないで下さい。「① X線発生ボタン」を ON にすると、0kV, 0mA の表示で点滅ははじめ、20kV, 10mA の表示の点滅に変わり、やがて点灯に変わります。これでX線が発生しこの冊子の表紙、図 0 「① X線パイロットランプ」が点灯します。これ以降の操作で、装置前面のシールドドアを開けるときは、表紙の図 0 「⑧ Door ボタン」を押して警告音が鳴った状態で行う必要があります。シールドドアを閉めるときは表紙、図 0 「⑩ 中央シールドドア」左下の赤丸のマークが合うように合わせてから「⑨ 左シールドドア」を閉めます。最後に図 0 「⑨ 中央シールドドア」を閉めようとするとき、赤丸のマークをオーバーしたとき、安全装置が働いてX線が落ちることになります。20kV, 10mA の表示が点灯に変わったら、まず、図 1.4 「② X線電圧ボタン」を、40kV まで、1kV ずつ上げていきます。次に、図 1.4 「③ X線電流ボタン」を 30mA まで、1mA ずつ上げてゆきます。この状態で、1.5 時間放置して、X線のパワーを安定させます。

この装置は、必ず上記の電圧および電流値で使ってください。X線のパワーを絞って使うことはしないでください。X線が発生させる回転対陰極（ローター）上の電子ビームのサイズがきわめて小さい（ $70\mu\text{m}\phi$ ）ため、単位面積あたりの熱

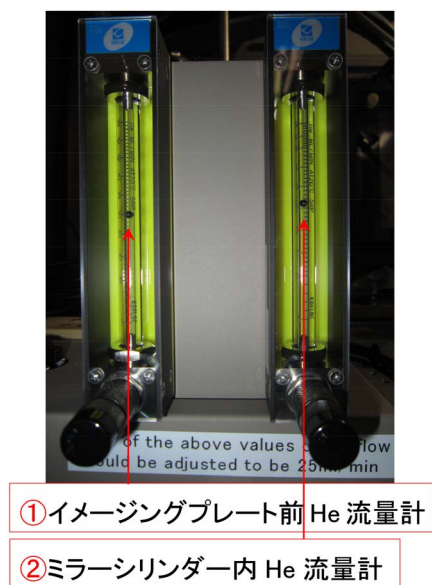


図 1.6 He 流量計

保証されません。

1.5 He 置換の開始

実験開始の 30 分前に、装置の左側奥にある、図 1.5 「① He 供給バルブ」を開けて、He ガスを出します。その他のバルブは、原則として触らないで下さい。

図 1.6 は、装置の X 線シールド内左奥にある He 流量計です。「① イメージングプレート前 He 流量計」「② ミラーシリンダー内 He 流量計」下のノブで流量を調整して、25ml/min にして下さい。30 分で、イメージングプレート前とミラーシリンダーの内部が、He 置換されます。

結晶のマウントとそのあとの操作については、Part 1 マニュアルを参照してください。

負荷が大きく、上記の電圧、電流値以外での動作は

第 2 章

終了手順

2.1 チッ素冷却装置の終了

図 1.1[p.1] の「② Stop ボタン」を押してください。その他のスイッチは触る必要はありません。サンプル結晶付近の温度は徐々に常温に戻っていきます。

2.2 X線のスイッチオフ

図 1.4[p.2] の「③ X線電流ボタン」を 1mA ずつ下げて、10mA にしてください。次に、「② X線電圧ボタン」を 1kV ずつ下げて、20kV にしてください。最後に「① X線発生ボタン」をオフにしてください。その他のボタンには触れないでください。

2.3 He 供給バルブの閉鎖

図 1.5[p.2] 「① He 供給バルブ」を閉じてください。図 1.6[p.3] 「① イメージングプレート前

He 流量計」「② ミラーシリンダー内 He 流量計」の値は、徐々に下がっていきます。

2.4 結晶の回収

結晶を取り外して、333 号室のとなり 332 号室で、マウントツールを水洗いしたあとアルコールをかけて洗浄してから元に戻しておいてください。結晶は、持ち帰ってください。

2.5 使用時間の記録

図 1.2 [p.1], X線源選択パネルで、F4 キーを押して、フィラメント通電時間を読み取り実験ノートに記録してください。F4 キーが反応しにくい場合は、一度 F1 キーを押してから、F4 キーを押してください。

何か異常があった場合は、その旨を実験ノートに記入してください。

To be continued

付録 A

冷却器の温度調整の仕方



図 A.1 図 1.1[p.1] の温度設定ユニットを拡大したところ



図 A.3 図 A.2 で「② [SEL] ボタン」を 1 回押して設定温度を -120°C に変更したところ



図 A.2 図 A.1 で「① [MODE] ボタン」を 1 回押したところ



図 A.4 図 A.3 で「⑦ [ENT] ボタン」を押すとオレンジおよび水色で表示された温度が、 -120°C に向けて上昇してゆきます

この冊子 §1.1 [p.1] で、冷チッ素吹き付け装置の設定について記述しましたが、この装置にはさらに高度な使い方があります。任意の温度に設定する方法について記述します。

A.1 設定温度の変更

図 A.1 は、図 1.1[p.1] 左の温度設定ユニットを拡大して示しています。図 1.1 [p.1] の「① Start

ボタン」を押してから 2 時間以上経過し、オレンジ色の、設定温度 -180°C に対して、水色の、センサーによる計測温度 -179.9°C が表示されています。

図 A.1 の「① [MODE] ボタン」を押すと図 A.2 のように表示され、さらに図 A.2 で「② [SEL] ボタン」を押すと図 A.3 が表示され、設定温度を変

えることができます。図 A.3 で「④ [>] ボタン」を押すことにより緑色で表示される設定温度の桁(アンダーハイフンの付いた桁)を変えることができ、指定された桁の設定値を「⑤ [V] ボタン」または「⑥ [^] ボタン」を押すことにより、下降または上昇させることができます。

図 A.3 のように温度を指定したあと「⑦ [ENT] ボタン」を押すとオレンジで表示される設定温度が、およそ $0.2^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ で変化し、水色で表示される、センサーによる計測温度が、ほぼ同じ速度で追隨します。設定温度に達したあと計測温度はしばらく上下しますが、2 ~ 3 分程度で、設

定温度近傍で安定して図 A.4 のようになります。ここで「① [MODE] ボタン」を 2 度押して図 A.1 のように表示させて実験を行って下さい (温度は任意)。

温度の設定範囲は $-180 \sim 25^{\circ}\text{C}$ です。この範囲で任意の温度を設定できます。原則としてこの範囲で使ってください。 -180°C 以下に設定しても、その温度には到達しません。

実験が終了したあとは、原則として設定温度を -180°C に戻してください。また原則として、図 1.1 [p.1] の「② Stop ボタン」を押して冷却機能を止めて下さい。

付録 B

顕微鏡の使い方

この章では、顕微鏡の使用方法について記述します。

図 B.1 は双眼実体顕微鏡ニコン SMZ1500 の全体図です。図 B.2, B.3, B.4, B.6, B.8 [p.10], B.10 [p.11] は、これの一部を接写したものです。タンパク質結晶構造解析装置のそばに置いてあるニコン SMZ1000 の使い方もほぼ同じなので、この章の記述を参照してください。

ただし、右目で見えるスケールの最小目盛りが、SMZ1500 では、ズーム倍率 1 のとき $100\mu\text{m}$ 、ズーム倍率 10 のとき $10\mu\text{m}$ なのに対して、SMZ1000 では、ズーム倍率 0.8 のとき $100\mu\text{m}$ 、ズーム倍率 8 のとき $10\mu\text{m}$ なので、注意してください。

B.1 基本的な使い方

B.1.1 照明の点灯と調整

図 B.2 は、図 B.1 「⑫ 照明装置スイッチ」付近を右側から接写したものです。「① 照明スイッチ」を ON にし、「② 明るさ調整ノブ」で明るさを調整します。

B.1.2 対物レンズの選択と位置の調整

図 B.3 は、図 B.1 「⑦ 対物レンズ&レボルバー」を接写したものです。(a), (b) では倍率 1 倍の対物レンズが選択されており、(c) では、レボルバーを 180° 回転させて倍率 1.6 倍の対物レンズが選択されています。1 倍の対物レンズでピントを

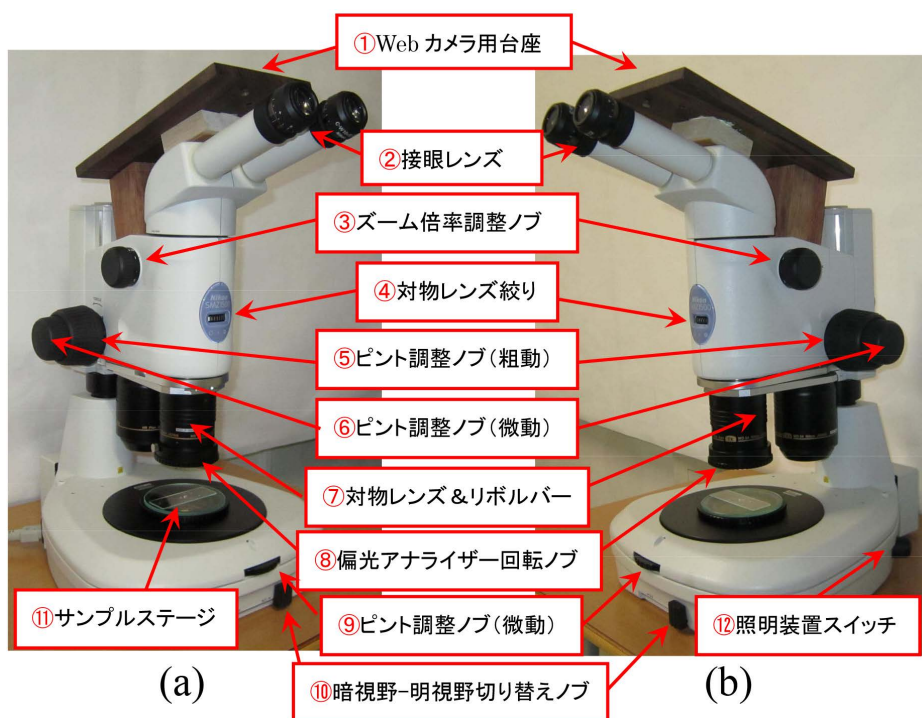


図 B.1 ニコン SMZ1500 顕微鏡全体図



図 B.2 照明スイッチと明るさ調整ノブ

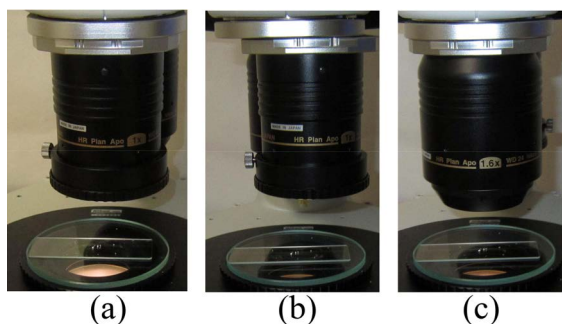


図 B.3 対物レンズ&レボルバー



図 B.4 接眼レンズ

合わせた後、レボルバーを回転させるだけで 1.6 倍の対物レンズでもピントが合うわけではないことに注意してください。

1 倍の対物レンズを選択した場合、図 B.3 (a)、(b) のような 2 か所で止まるようになっています。(a) は、対物レンズが鏡筒の軸線上にあり、双眼でオブジェクトを観察するときの位置です。(b) では、対物レンズが鏡筒の軸線からやや右にずれており、右目単眼で観察するときの位置です。(b) の位置は、右接眼レンズをデジタルカメラや Web カメラで覗き、顕微像を撮影するのに適しています。

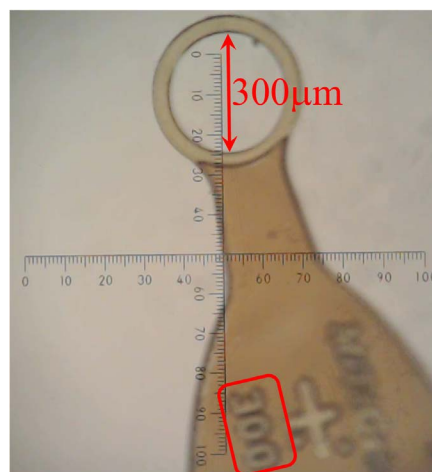


図 B.5 300µm マイクロマウント (倍率 10 倍)



図 B.6 ズーム倍率調整ノブ

対物レンズを選択したら、図 B.1 「⑤ ピント調整ノブ (粗動)」を調整して、対物レンズがオブジェクトに近づくように鏡筒を下げます。

B.1.3 右目用接眼レンズ視度の調整

図 B.4 は、接眼レンズを接写したものです。左右の接眼レンズ鏡筒間の距離は、これを開くか閉じるかして調整することができます。双眼で最も見やすくなるようにしてください。

右目には、図 B.5 のように十字線とスケールが見えます。これが最もはっきり見えるように図 B.4 「② 右目視度調整リング」を回して調整してください。十字線の角度は図 B.4 「② 十字線回転リング」で調整できます。

B.1.4 ズーム倍率の調整

図 B.1 「③ ズーム倍率調整ノブ」を接写したのが図 B.6 です。倍率は 0.75~11.25 の範囲で可変ですが、最初は 0.75~1 倍程度の低倍率で図 B.1 「⑪ サンプルステージ」上の広範囲を観察できる

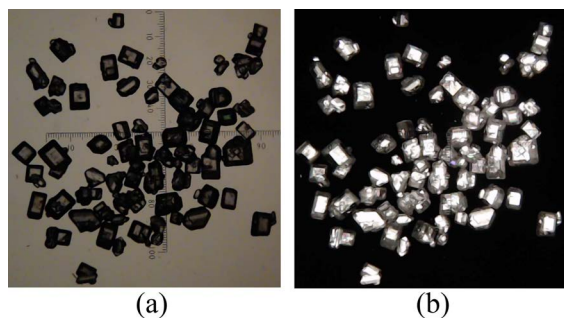


図 B.7 スクロースの結晶。(a) 平行 (平行) ニコル。(b) クロス (直交) ニコル

ようにします。

B.1.5 ピントの調整

右目で覗きながら図 B.1 [p.8] 「⑤ ピント調整ノブ (粗動)」を右から見て時計回りに回すと鏡筒が持ち上がり、対物レンズがオブジェクトから離れていきます。図 B.1 [p.8] 「⑪ サンプルステージ」上のオブジェクトに右目のピントを合わせます。その後、左目のピントを図 B.4 [p.9] 「① 左目視度調整リング」で調整します。

両目でピントが合ったら図 B.6 [p.9] 「① ズーム倍率調整ノブ」で倍率を調整します。高倍率におけるピントは図 B.1 [p.8] 「⑥ ピント調整ノブ (微動)」または「⑨ ピント調整ノブ (微動)」を回転させて微調整できます。右目で見えるスケールの最小目盛りは、SMZ1500 では、倍率が 1 倍のとき $100\mu\text{m}$ 、10 倍のとき $10\mu\text{m}$ です。SMZ1000 の場合は、倍率が 0.8 倍のとき $100\mu\text{m}$ 、8 倍のとき $10\mu\text{m}$ です。

図 B.5 [p.9] は、SMZ1500 で、一番大きな結晶マイクロマウントを倍率 10 倍で撮影したものです。図 B.5 [p.9] 下に「300」の数字が見られ、リング内径が 30 目盛りであることから $300\mu\text{m}$ であることがわかります。

B.2 高度な使い方

B.2.1 偏光アナライザーの調整

図 B.1 [p.8] 「⑪ サンプルステージ」の下には偏光子 (偏光板) が入っており、オブジェクトは直線偏光の光で照らされています。1 倍対物レンズの下には偏光アナライザー (検光子) が入って

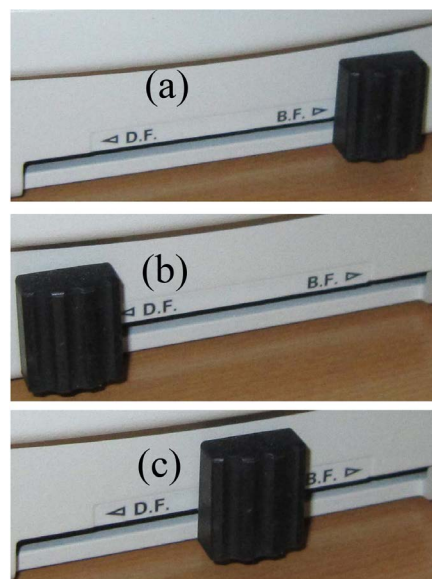


図 B.8 明視野-暗視野切り替えノブ

おり、図 B.1 「⑧ 偏光アナライザー回転ノブ」でこれを回転させることができます。

図 B.7(b) のように、暗い視野の中に結晶が輝いて見えるのが、クロスニコル (直交ニコル)、偏光アナライザーをそこから 90° 回転させたのが、図 B.7(a) 平行ニコル (平行ニコル) の状態です。

立方晶以外の結晶は、一軸ないしは二軸の光学異方性を持っており、光を複屈折します。このため下からの照明光の偏光状態が変化し、クロスニコルの状態で結晶が輝いて見えるのです。結晶が浸されている溶液や、結晶を取り付けるための流動パラフィンや真空グリスなどには、光学異方性がないため偏光状態が変化せず、クロスニコルの状態では真っ暗に見えます。溶液や流動パラフィンの中に無色透明な微小結晶が沈んでいる場合でも、クロスニコルの状態では、結晶が明瞭に輝いて見えます。複屈折の度合いは、照明光の偏光方向と結晶の光学軸 (Optic axis) の角度関係に依存するので、結晶を顕微鏡の光軸周りに回転させるとコントラストが変化します。クロスニコルの状態で用いた後には、原則として平行ニコルの状態に戻しておいてください。

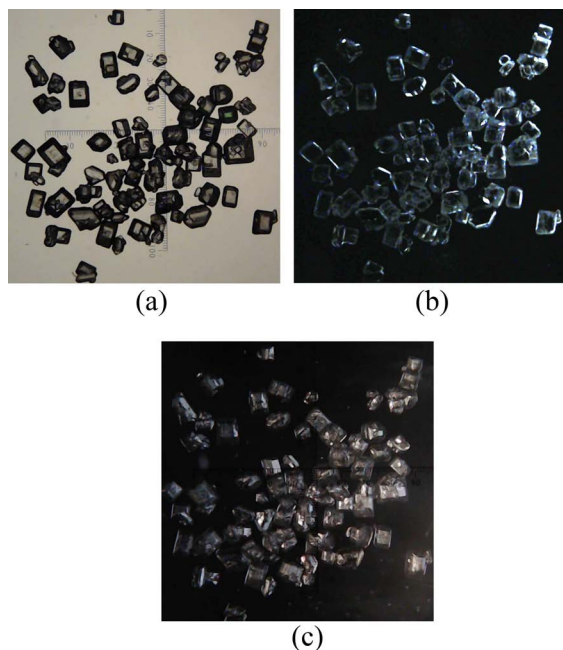


図 B.9 (a) 明視野像, (b) 暗視野像, (c) 中間像

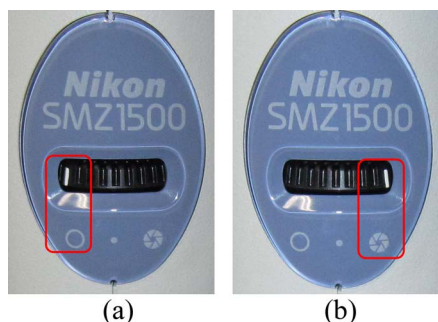


図 B.10 対物レンズ絞り

B.2.2 明視野, 暗視野モードの切り替え

図 B.1 [p.8] 「⑩ 明視野-暗視野切り替えノブ」を接写したのが図 B.8 です。(a) は明視野, (b) は暗視野のモードに切り替えたところです。本来の使い方ではないものの, 明視野と暗視野の中間の (c) のような設定で, 特徴的なコントラストが見られる場合もあります。図 B.9 (a), (b), (c) は, 図 B.8 (a), (b), (c) の状態で撮影された結晶の顕微像です。

明視野は, 照明からの光が顕微鏡の光路に直接入射するように, 暗視野は, 直接入射しないように結晶を照らすモードです。通常は, 明視野のモードで結晶を観察します。暗視野のモードでは, 結晶のエッジの部分で大きく屈折した光が顕

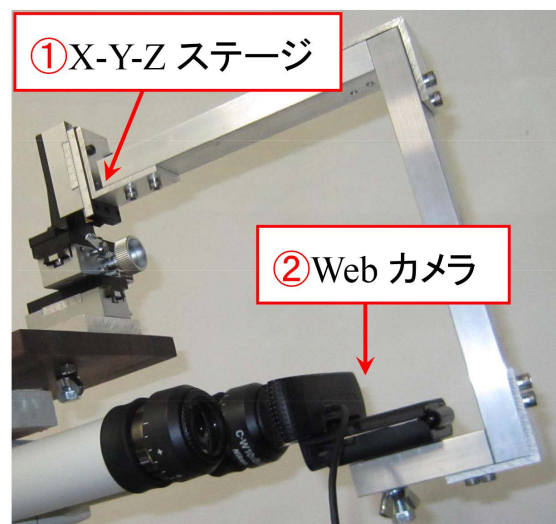


図 B.11 Web カメラを取り付けたところ

微鏡の光路に入射することになるので, 結晶の輪郭を観察するのに適しています。

B.2.3 対物レンズ絞りの調整

図 B.1 [p.8] 「④ 絞り」の部分から正面から接写したのが図 B.10 です。顕微鏡の解像度は開口数 (Numerical aperture) が大きいほど高くなります。したがって絞りを図 B.10(a) のように全開にすると最も高い解像度が得られます。しかし高倍率で比較的大きな結晶を観察すると, ピントが合った高さ以外の部分はピンボケになって観察されます。図 B.10(b) のように対物レンズ絞りを絞ると, ピントが合った部分の解像度は損なわれるものの, 結晶の高さによるピンボケの問題を, ある程度緩和することができます。

B.2.4 Web カメラの利用

図 B.1 [p.8] 「① Web カメラ用台座」には, 図 B.11 のように Web カメラを取り付けることができます。

顕微像は, 接眼レンズをデジタルカメラで覗かせることにより撮影することができます。この際, カメラの対物レンズが顕微鏡の射出瞳 (しゃしゅつどう, しゃしゅつひとみ) を捉えていないと, 視野が欠けたり, けられたりします。

射出瞳は, 接眼レンズによる対物レンズの虚像です。対物レンズで見ている全視野からの光は, すべてこの射出瞳の部分を通ります。肉眼で顕微

鏡を覗いたときに、観察者が顔を上下左右、ないしは前後に動かすと視野が欠けたり、けられたりするの、観察者の瞳孔と射出瞳の位置がズれるためです。

図 B.11 「① X-Y-Z ステージ」は、Web カメラの対物レンズの位置を射出瞳に正確に合わせるためのものです。図 B.5 [p.9]、B.7 [p.10]、B.9 [p.11] は、いずれも、図 B.11 [p.11] のように Web カメラを固定して撮影したものです。

顕微像を静止画や動画で撮影するのに、図 B.11 [p.11] の装置は大変有効です。顕微像を大人数で見することもできます。この装置一式は、右上から 2 番目のロッカーに収納してあります。撮影用ソフトウェアをインストールしたパソコンと一緒に貸し出しますので、必要なときは装置管理者 (沖津; 27470, 090-2203-8789) まで、連絡をください。

以上

索引

C	
CuK α 線の波長と光子エネルギー	i, 1
H	
He 供給バルブの閉鎖	4
He 置換	1, 3
N	
Numerical aperture(開口数)	11
O	
Optic axis(光学軸)	10
R	
Ramakrishnan	i
S	
SMZ1000	8, 10
SMZ1500	8, 10
Steitz	i
W	
Web カメラ	9, 11, 12
X	
X-Y-Z ステージ	12
X線のスイッチオフ	4
X線の電圧, 電流設定	2
Y	
Yonath	i
あ	
暗視野像	10, 11
一軸異方性	10
X線のスイッチオフ	4
X線の電圧, 電流設定	2
か	
開口数 (Numerical aperture)	11
クロスニコル	9, 10
結晶とイメージングプレートの距離	2
結晶の写真的撮影	12
検光子	10
顕微鏡の使い方	8
光学異方性	10
光学軸 (Optic axis)	10
さ	
最小目盛り	8
視度調整リング	9
絞り	10, 11
射出瞳 (しゃしゅつどう)	11, 12
射出瞳 (しゃしゅつひとみ)	11, 12
十字線	9
十字線回転リング	9
終了手順	4
ズーム倍率	8
ズーム倍率調整ノブ	9
スケール	9
スケールの最小目盛り	10
スタイツ	i
接眼レンズの鏡筒間の距離	9
接眼レンズ視度の調整	9
設定温度の変更	6
装置管理者の連絡先	1
装置管理者の連絡先	12
た	
対物レンズ	8
対物レンズ絞り	10, 11
対物レンズの虚像	11
対物レンズレボルバー	8
チッ素冷却装置の終了	4
直交ニコル	9, 10
銅 K α 線の波長と光子エネルギー	i
な	
ニコン SMZ1000	8, 10
ニコン SMZ1500	8, 10
二軸異方性	10
は	
パラレルニコル	9, 10
ピント調整	9
ピント調整ノブ (粗動)	9
ピント調整ノブ (微動)	10
複屈折	10
平行ニコル	9, 10
ヘリウム供給バルブの閉鎖	4
ヘリウム置換	1, 3
偏光アナライザー	10
偏光アナライザー回転ノブ	10
偏光子 (偏光板)	10
ま	
マイクロマウント	9, 10
明視野-暗視野切り替えノブ	10, 11
明視野像	10, 11
モリブデン K α 線の波長と光子エネルギー	i
や	
ヨーナット	i
ヨナス	i
ら	
ラマクリシュナン	i
冷却器の温度調整の仕方	6
冷チッ素発生装置	1
レボルバー	8