

光学的手法で試料の空間構造を探る (10 点)

問題の解答にはソフトウェア 2A-2E を用いよ

I. 実験のセットアップ

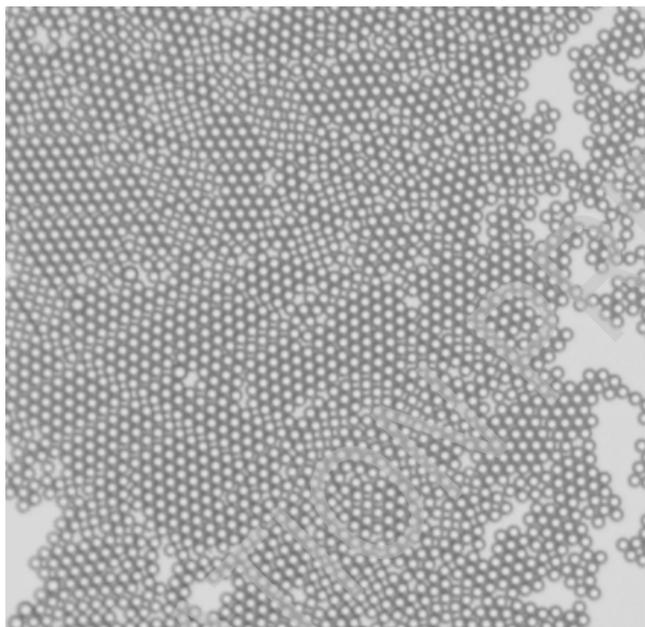


図 1 微小球の配置を示す図

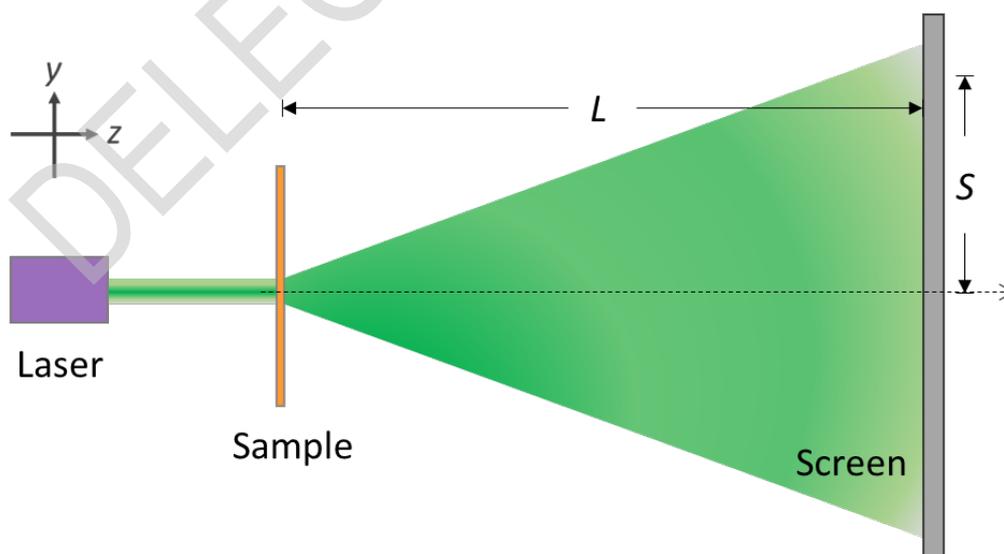


図 2 実験のセットアップ



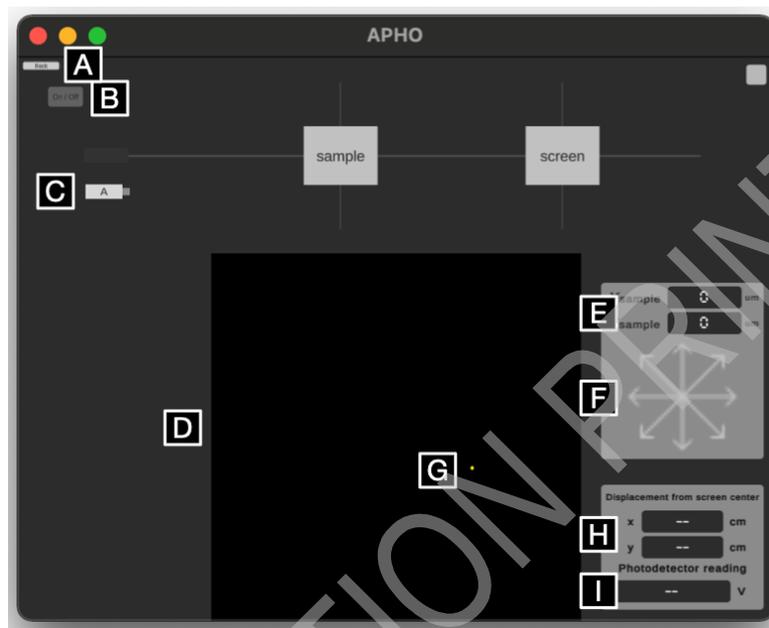
II. イントロダクション

微小球は、生物医学的測定分野で多くの応用がある。微小球を注入するために、構造とパターンが設計されたキャリアを使用することで、関連する光電センシング部品を作ることができる。このオンライン実験は、上述の実験フレームワークをシミュレートし、関連する測定を行い、微小球の直径、構造パターンのサイズを推測し、最終的にサンプルの空間構造を記述することを目的としている。

生物医学的な検出に使われるサンプルがある。この試料は、同じ直径を持つ多数の透明なガラス微小球が2次元の最密充填に配置されている。微小球は互いに接しており、配列方向は完全には一致していない(図1参照)。これらの微小球は、微小球の直径よりも大きなサイズを持ち、ある角度回転している長方形のセルに充填されており、そのセルが多数、直交する格子状に配列されている。この試料のすべての構造を知るために、この実験(図2参照)では、レーザー光源を使って試料に照射し、回折現象を観察している。回折パターンの構造解析から、試料の対称性や構造の大きさを知ることができる。

DELEGATION PRINT

ソフトウェア操作マニュアル



2A

A. 実験のメニューに戻る

実験中にこのボタンを使うと全ての実験の状態やデータが消えることに注意せよ

B. レーザーのオン/オフ

レーザーが光路上にある間、このボタンでレーザーの電源をオン/オフする。レーザーが作動すると、光の軌跡が光路上に表示される。

C. レーザー光源

ドラッグして光路上に乗せたり、取り除いたりすることができる。なお、新しいレーザー光源を光路上に設置する際には「Installing」と表示され、設置が行われていることが示される。

D. 投影スクリーン

レーザーはまず試料に照射され、その後、得られたパターンを光路の右側にあるスクリーンに投影する。パート A の実験では、スクリーンは試料から 50cm のところに固定されている。

E. 試料の座標の表示

光路の中央にある試料の座標 X_{sample} と Y_{sample} を 100 μm 単位で表示している。

F. 試料の座標の調整

クリックすると、試料の座標を 100 μm 単位で調整できる。長押しすると連続して移動する。斜めの矢印は、100 μm 単位で試料を両軸方向に移動させる。

G. 光検出器の座標の調整

投影画面をクリックして、クリックした場所に光検出器を設置する。キーボードの矢印キーで位置を微調整できる。

H. 光検出器の座標の表示

Experiment



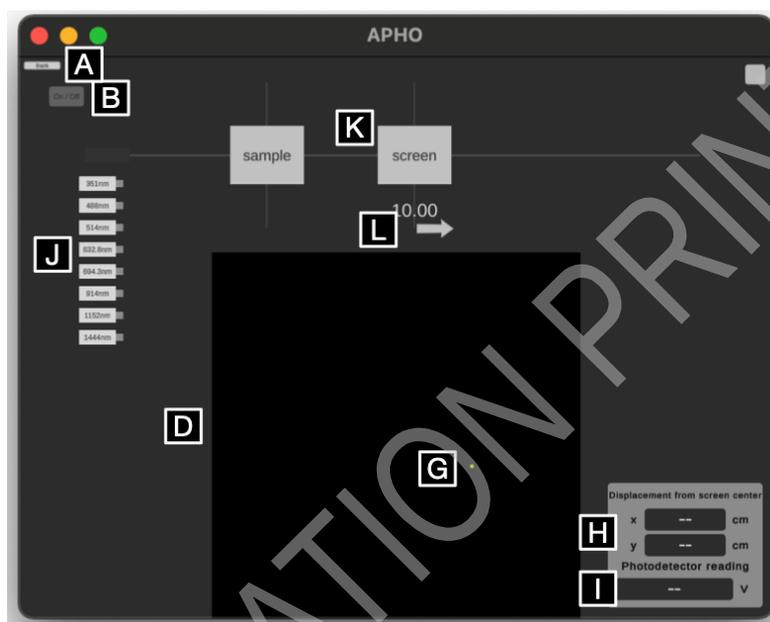
Q2-4

Japanese (Japan)

原点に対する光検出器の位置 (x, y) を 0.01cm 単位で数値化する。

I. 光検出器の電圧の表示

光検出器の電圧測定値を 0.01V 単位で表示する。なお、メーターのレンジ調整はできない。



2B - 2E

J. 多波長のレーザー光源

ドラッグして光路上に乗せたり、取り除いたりすることができる。なお、新しいレーザー光源を光路上に設置する際には「Installing」と表示され、設置が行われていることが示される。

K. 投影スクリーン

レーザーはまず試料に照射され、その後、得られたパターンを光路の右側にあるスクリーンに投影する。パート B からパート E の実験では、スクリーンと試料の距離を調整することができる。

L. 投影面の調節

マウスを使って矢印を水平方向にドラッグする。これにより、試料に対する投影スクリーンの距離を 1.0cm 単位で調整する。調整範囲は $10.0\text{cm} \sim 100.0\text{cm}$ である。

III. 実験

パート A. 光路と試料の調整 (1.0 点)

レーザーを正しく調整して試料に照射するために、試料として校正用の二重スリットを使用する。レーザーを適切に調整して二重スリットの中心に照射すると、スクリーン上に明確な干渉縞が観察される。二重スリットの元の位置は $(X_{sample}, Y_{sample}) = (0, 0)$ であり、その値はソフトウェアのインターフェースに表示される。試料の z 位置は固定されている。二重スリットの位置を x - y 平面に沿って十分に調整することで、画面に干渉縞を観察することになる。干渉縞の正しい間隔を測定できる二重スリットの最適な位置 (X_{sample}, Y_{sample}) を求めたい。

A.1	二重スリットの最適な位置 (X_{sample}, Y_{sample}) を決めよ。	0.5pt
------------	---	-------

A.2	最適な位置で観測された干渉縞を描き、 ± 1 次と ± 2 次の暗線の位置 (x, y) と、位置 (x, y) と原点の間の距離 S を記録せよ。隣接する 2 つの暗線の間隔 ΔS を求めよ。	0.5pt
------------	---	-------

Part B. 試料構造サイズの探索 (3.0 点)

システム全体の光路が最適に設定されていると仮定すると、レーザーの位置とサンプルの位置は固定されている。ただし、レーザー光の波長 λ とスクリーンの位置 L を変えるだけで、異なる回折パターンをスクリーン上で見ることができる。各微小球の対応する距離 d は、 λ , L , S (位置 (x, y) と原点の間の距離) の関係を使って求めることができる。図 1 の微小球配列の模式図を参照し、可視光領域の 3 種類のレーザー光源を用いて、微小球の直径 a を推定せよ。

B.1	微小球間の距離 d を、 λ , L , S で表した式を示せ。	0.5pt
------------	--	-------

B.2	スクリーン L の適切な位置を選択して、微小球のスクリーン上の回折パターンの座標 (x, y) と、可視領域の選択した 3 つのレーザー光源に対して、測定した距離 S と $\tan^{-1}(\frac{S}{L})$ (単位: ラジアン) を記録せよ。(平均 \bar{S} の値を得るために 1 次のリングの異なる 5 箇所を測定せよ)	1.5pt
------------	---	-------

B.3	B.1 で求めた式を使って、3 つのレーザー光源における各微小球の対応する距離 d 、微小球の直径 a 、平均直径 \bar{a} を推定する。	1.0pt
------------	--	-------

Part C. サンプル構造サイズの探索 (2.5 点)

この問題での試料は、長方形のセルの中に多数の透明ガラス微小球が 2 次的に最密充填で配列され、そのセルが多数、直交する格子点上に配列されている。各セルは、格子に対してある角度だけ回転している。スクリーンに映し出されたパターンに、長方形の格子が規則的に配置されていることによって生じる直交した回折縞を見ることができる。実験には可視光のレーザーを選び、回折パターンから長方形格子の大きさそれぞれに対応する回転角を導き出せ。

C.1 実験に使用するレーザーは可視光のものを選ぶこと。スクリーンと試料の間の距離を $L = 90 \text{ cm}$ に固定し、回折パターンを観察せよ。直交する二つの方向の 4 次から 7 次の輝点の座標 (x, y) を記録し、対応する距離 S を計算し、 $\tan^{-1}(\frac{S}{L})$ の対応する値を求めなさい (単位: ラジアン)。 0.8pt

C.2 前問のデータに基づいて、隣り合う輝点の距離 ΔS_x 、 ΔS_y を計算せよ。また、1 つの長方形の長辺 (l) と短辺 (w) の長さを推定しなさい。 0.7pt

C.3 回転角の推定: 角度を推定するための線を引く。輝点の 4 つの座標 (x, y) を記録しておく。1 つの長方形セルの長辺の、水平軸に対する回転角 ϕ を推定せよ。 1.0pt

Part D. サンプル構造サイズの探索 (2.5 点)

前の問題のような可視領域の入射光では、スクリーン上の交差した明るいパターンの中に、より細かい回折スポットパターンがあり、識別は容易ではない。したがって、試料の鮮明な回折パターンを得るためには、より長波長の光が必要となる。微細な回折スポットパターンを生成するためには、赤外レーザーを試料に照射すること。赤外線は目に見えないので、回折スポットの位置を見つけるには光検出器が必要である。回折スポットパターンから試料の格子構造を決定しなさい。

D.1 スクリーンの位置を 95 cm に設定し、実験用の赤外線レーザーを 1 台選び、光検出器を使ってスクリーン上の微細な回折スポットパターンを識別しなさい。レーザーの波長とスクリーン上の 4×4 の微細な回折輝点のセットの座標を表に記入しなさい。 4×4 のスポットパターンを描き、隣接するスポット間の距離 ΔS_x 、 ΔS_y を図中に記入し、その値を計算しなさい。 1.9pt

D.2 赤外実験の結果から、格子状に並んだセル間の間隔 d_x 、 d_y を決定しなさい。 0.6pt

Part E. サンプル構造サイズの探索 ((1.0 点))

このサンプルは、多数の透明なガラス微小球が 2 次元的に最密充填状態で配列されたもので (図 1), 特定の回転角を持つ長方形のセルが多数、格子状に並んでいる。微小球は互いに接しており、配列方向は完全には一致していない。このサンプルには、微小球の規則的な配列の他に、微小球の直径よりも大きな長方形セルの配列がある。パート C とパート D の質問によると、回折縞を観察して得られた構造の大きさと方向の情報から、このサンプルの構造を特定できる。

- E.1** セルの周期配列の模式図を描きなさい。それを長方形のセルを 3x3 に並べて表し、 1.0pt 問題 **Part C** と **Part D** におけるセルの大きさ (l と w)、セル同士の間隔 (d_x と d_y)、セルの回転角 (ϕ) を記号 (l, w, d_x, d_y, ϕ) で記しなさい。

DELEGATION PRINT