

マイクロレンズとしての酵母細胞の集光特性と屈折率の測定

Measurement of Light-Focusing Properties and Refractive Index of Yeast Cell as a Microlens

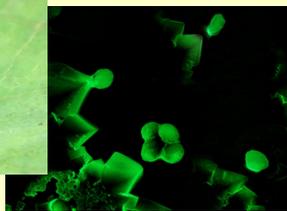
東京科学大学 リサーチインフラ・マネジメント機構 コアファシリティセンター
松谷晃宏

第85回応用物理学会秋季学術講演会16p-P07-22(2024年9月16日)

バラの葉の上の水滴



酵母細胞と塩の結晶



松谷, Science As Art 丸と四角の不思議空間, 応用物理, 86 (2017) p. 649

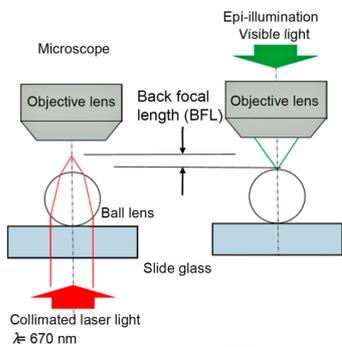
Background and purpose of this study

- 自然界では球は基本的な形状。
- 生物由来の球状細胞はイクラのような魚卵だけではなく微生物の細胞にも多く、パン酵母も球に近い形状の単細胞真核生物モデル生物
- 酵母細胞の顕微鏡観察中に、酵母細胞の曲面がレンズと機能して光が収束される事象を観察し、この現象の光学教材へ応用することを着想
- しかし、直径数 μm の球状の微生物細胞をレンズとしてその結像特性評価をした例はほとんどない

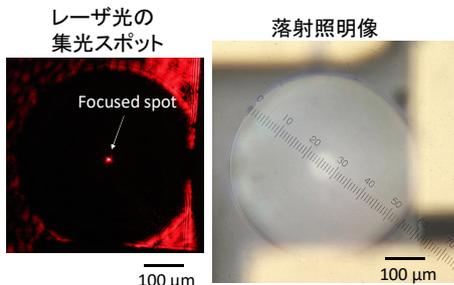
➔ 目的: マイクロレンズとしての酵母細胞の集光特性と屈折率の測定のための顕微鏡観察における焦点位置を利用した方法の提案

球形状物質のマイクロレンズとしての集光特性と屈折率の測定方法

顕微鏡観察における焦点位置を利用した屈折率計測方法の原理

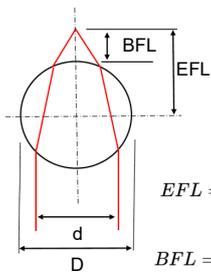


サファイアボールレンズを用いた原理実証



- 半導体レーザーのコリメート光を球状試料に透過させてバックフォーカスの距離 (BFL) を測定
- 試料の曲率半径などの情報から幾何学的に屈折率を計算

ボールレンズの式

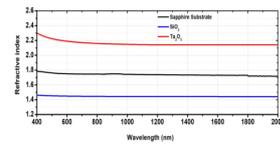


$$EFL = \frac{nD}{4(n-1)}$$

$$BFL = EFL - \frac{D}{2}$$

直径 = 550 μm , BFL = 40 μm
→ 見積もられたサファイアの屈折率 = 1.77 @ 670 nm

既知の数値と同等の屈折率 ~1.76^[1,2] が得られ、実験方法の妥当性を検証



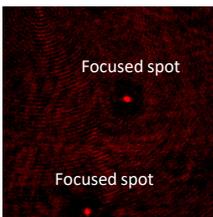
[1] Guo et al. Coatings, 11 (2011) 492.
[2] <https://refractiveindex.info/?shelf=main&book=Al2O3&page=Malitson-o>

マイクロレンズとしての酵母細胞の集光と曲率半径測定

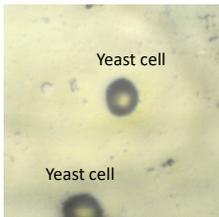


- 市販のドライイーストを用いて上記同様にBFLの長さを測定
- ドライイーストは水中で分散させてスライドガラス上に滴下して大気中で乾燥

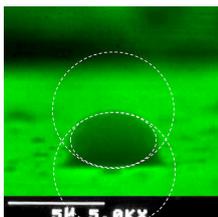
レーザー光の集光スポット



落射照明像

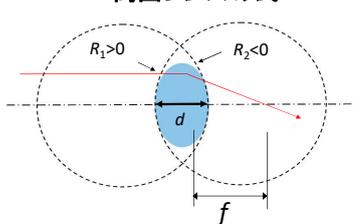


SEM像を用いた曲率半径測定



直径 = 4.5 μm
レンズ厚 = 2.9 μm
曲率半径 = 3 μm

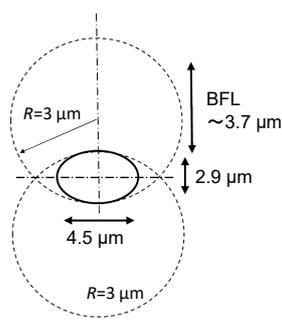
両凸レンズの式



$$\frac{1}{f} = (N-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) + \left(\frac{d}{N} \right) \frac{(N-1)^2}{R_1 R_2}$$

$R_1 = -R_2$ のとき

$$\frac{1}{f} = \frac{2(N-1)}{R} - \left(\frac{d}{N} \right) \frac{(N-1)^2}{R^2}$$

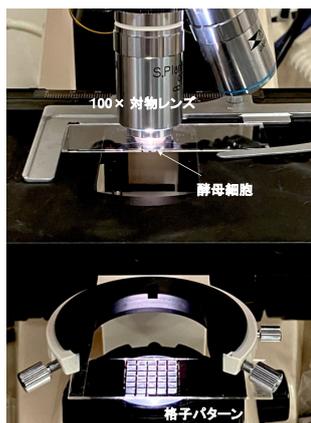


焦点距離 = 4.9 μm
像側主点 = 1.2 μm
測定された酵母細胞の屈折率 1.34~1.35 @ 670 nm

酵母細胞レンズによる格子パターンの結像

本実験で用いた測定系

観察された格子像



酵母細胞による格子像の結像は、歪曲収差もほとんどない良好な結像

→ マイクロレンズとして良好な光学特性

Summary

- 酵母細胞の集光スポットサイズは小さな円形を示し、良好なレンズ特性をもつことがわかった
- 測定された酵母細胞のBFLは3.7~3.8 μm @ 670 nm
- SEM像と曲率半径のフィッティング円から細胞両曲面の曲率半径は約3 μm で、厚い両凸レンズの式に当てはめると屈折率は約1.34~1.35 @ 670 nm
- 酵母細胞はレンズとしての良好な集光機能をもつことから、光学教材の他に微小光学素子としての応用も期待できる
- 本研究はJSPS科研費 JP24K06352の助成を受けたものです。