



## ハイクラスズームレンズ

業界最高解像度「ハイクラスズームレンズ」を2種同時ラインナップ。

高級蛍石レンズを採用し、色収差を理想値に補正するハイクラスレンズ。最先端の光学設計と高度な照明技術により収差歪みを極限まで低減させたクラス最高解像度ズームレンズです。



100・1000  
High Class  
—Original Zoom Lens—

高解像度と超深度を両立するワイドレンジズームレンズ

### VH-Z100 ワイドレンジズームレンズ

拡大観察を高解像に、そして深度深く行いたい。そんな相反する要望に応える新発想から生まれた新標準レンズです。

観察倍率100～1000倍の10倍ズーム。観察距離は25mmを実現。3D撮影に最適。従来比2.5倍の高解像度レンズ採用。抜群の被写界深度。従来比2倍。

型 式	VH-Z100					
	100倍	200倍	300倍	500倍	700倍	1000倍
H(横)	3.05	1.53	1.02	0.61	0.44	0.30
V(縦)	2.28	1.14	0.76	0.46	0.33	0.23
D(対角)	3.81	1.90	1.27	0.76	0.54	0.38
観察距離 (mm)	25 (20 <sup>φ</sup> )					

※1 15型モニタ上での倍率。 ※2 リング照明アダプタ取り付け時



500・5000  
High Class  
—Original Zoom Lens—

光学レンズの極み 高解像度ズームレンズ

### VH-Z500 高解像度ズームレンズ

高級蛍石レンズ採用の、クラス最高解像度ズームレンズ。先進の3D表示機能を巧みに表現し、観察の常識を覆します。

開口数 (NA) 0.82。観察距離は、4.4mm。観察倍率は、500～5000倍の光学10倍ズーム。

型 式	VH-Z500				
	500倍	1000倍	2000倍	3000倍	5000倍
H(横)	610	305	152	102	61
V(縦)	457	229	114	76	46
D(対角)	762	381	191	127	76
観察距離 (mm)	4.4				

※1 15型モニタ上での倍率。

豊富なレンズバリエーション ハイクラスズームレンズ2種以外にも、あらゆる観察シーンに対応し、プロの求める高い要求を満たす、充実のレンズラインナップがあります。

## レンズ技術編

- 1 顕微鏡の構造を知る
- 2 レンズの種類と光の原理を学ぶ
- 3 ズームレンズのしくみと性能を理解する
- 4 照明の種類と効果を理解する

マイクログラフの総合情報サイト  
最新機能を動画で確認できます

www.vhx.jp

株式会社 キーエンス

MECT事業部

フリーダイヤル 0120-739-007

顕微鏡の種類

顕微鏡は、物を拡大して見る装置で、微細な生物を観察したり、半導体の細かな部分の品質管理など、様々な用途があり、電子部品業界や科学・薬品業界などで幅広く使用されています。

顕微鏡の歴史は長く、遡ること16世紀に発明されたとされています。

初期の顕微鏡は、「単式顕微鏡」と呼ばれる、1個の凸レンズの曲率を利用したもので、物体の位置と焦点を調節するというシンプルな構造でしたが、肉眼では見えない多くの微生物発見に役立ちました。

その後、2つ以上のレンズを組み合わせることで、拡大率を高める「複式顕微鏡」が発明されました。これは、接眼レンズと対物レンズで構成され、光源から集めた光を物体にあて、対物レンズを通過した光が、接眼レンズに送られ、そこで数十倍に拡大された虚像を作るといしくみです。

さらに、より微細な物体を鮮明に観察するため、顕微鏡の開発は進み、現在では、複数のレンズを組み合わせ、収差の少ない高性能なレンズを用いた「光学顕微鏡」や「デジタルマイクロスコープ」が主流となっています。

接眼レンズと対物レンズ

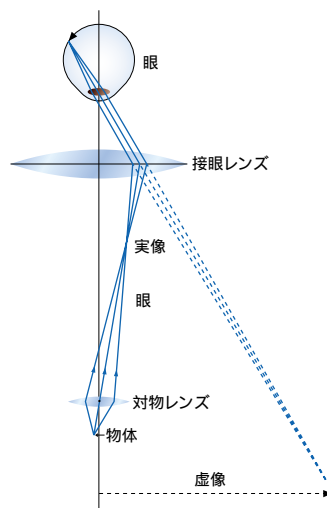
顕微鏡は、収差をなくすために対物レンズと接眼レンズを複数枚組合わせて構成されています。対物レンズの下に物体を置き、接眼レンズから覗くと、対物レンズによって物体が拡大された像が見えます。

顕微鏡の構造

顕微鏡は、2種の凸レンズを重ねることで物体を拡大します。これは、物体に近いレンズ(対物レンズ)を通して拡大された実像を眼に近いレンズ(接眼レンズ)を通して見ることで、実像がさらにその5~20倍ほどの拡大した虚像となり観察するという原理です。現在は、レンズ開発技術の進歩により、高倍率化されており、このような光学レンズには、1本のレンズに十数枚から20枚のレンズで構成されている物もあります。

これらのレンズ開発の進歩は、高倍率だけでなく、より収差の少ないシャープな像が観察できる顕微鏡の発展につながっています。つまり、顕微鏡の高性能化は、まさにレンズ開発技術の発展の成果といえます。(レンズについては、後に詳しく述べます。)

接眼レンズと対物レンズの図



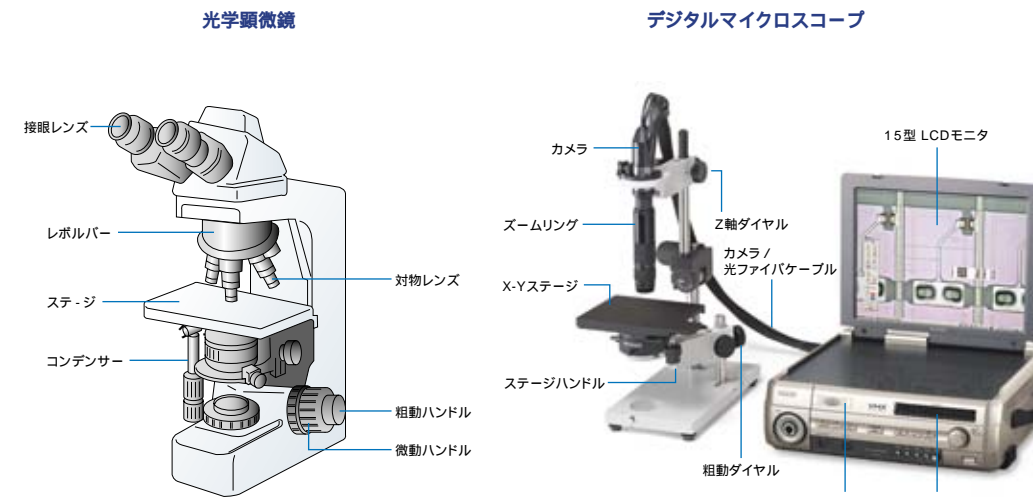
光学顕微鏡とデジタルマイクロスコープ

「光学顕微鏡」は、複数の対物レンズで構成された光学レンズを使用することで、単レンズの顕微鏡と比べ100倍、200倍、300倍と、より物を拡大した観察を可能にし、動物や植物の細胞を観察するのに適しています。「デジタルマイクロスコープ」は、光学レンズを使用することにおいては、光学顕微鏡と同じです。光学顕微鏡が接眼レンズを通して観察するのに対し、デジタルマイクロスコープは、目の代わりにCCDカメラを搭載し、液晶モニタ上で観察する新しいタイプの顕微鏡といえます。

0倍の低倍率から、5000倍程度の高倍率までを1台でカバーし、研究室からエレクトロニクス業界など、あらゆる業界の生産現場まで、広く用いられています。

顕微鏡の歴史

顕微鏡は、16世紀頃オランダのメガネ師ハンス・ヤンセン(Hans Jansen)親子が、2つのレンズを合わせて覗いたところ、遠くの教会の塔が大きく見えたことで、偶然に発明されました。当時は、おもちゃの「不思議なメガネ」として売り出し、大評判になったようです。



顕微鏡の性能

物体の様々な表面を拡大して見ると、明暗の模様の集まりが見えます。この模様をどの程度細かく像として再現できるかが、顕微鏡の性能を見極める基準となります。性能を表す基準として代表的なものに「分解能」、「倍率」、「被写界深度」などがあげられます。

これらは、物体をどれほど拡大して(細かい部分を)どれほど鮮明に(シャープな像を)みることができるかという顕微鏡の性能を表す指標として用いられます。「分解能」は、高いほど像はシャープに、「倍率」が高いほど大きく、「被写界深度」が深いほどピントの範囲が広く鮮明な像が再現されるということになります。

物体を大きく見る

顕微鏡は、接眼レンズと対物レンズの組み合わせることにより、物体を大きく見ることができます。この2種類のレンズの倍率を掛けた数値がその顕微鏡の倍率となります。顕微鏡の多くは、複数枚の対物レンズを使用しているため、10倍、20倍、50倍の対物レンズに、接眼レンズが10倍の場合は、100倍、200倍、500倍の倍率になります。動物や植物の細胞の観察には、この程度で十分ですが、より精密な観察が必要な半導体や電子部品、化学品や薬品の開発等では、1000倍や5000倍の顕微鏡も使われています。

物体をシャープに見る

物を大きく見ることができても、その像がシャープで無ければ性能が良い顕微鏡とはいえません。この指標となるのが「分解能」です。この説明については、レンズの性能に大きく関わり、レンズの構造を知ることが必要なので、後に詳しく説明しますが、簡単には、光がレンズを通るときに起こる「収差」や「開口数(NA)」が関係することだけを覚えておいてください。

分解能

分解能とは、物体の2つの点があったとき、その2点が分離して見えるかを示す値です。分解能の高い顕微鏡は、物体を鮮明に見ることができるので、高性能だといえます。

倍率

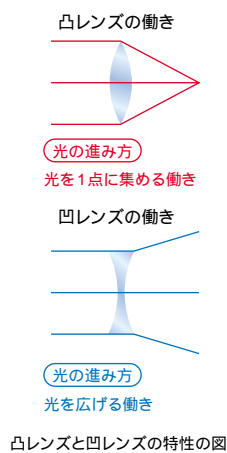
光学倍率:物体の大きさに対する拡大率  
デジタルマイクロスコープレンズの倍率は、対象物を15型モニタに映したときの拡大率を示しています。

被写界深度

対象物はレンズの焦点位置にあるときに最も鮮明に見えます。対象物の位置が近づいたり遠ざかったりした場合に、どれくらいズレてもピントが合って見えるか、その許容範囲のことを被写界深度といえます。被写界深度が深いレンズが高性能なレンズと言えます。詳しい説明はP6参照。



凸レンズと凹レンズの特性



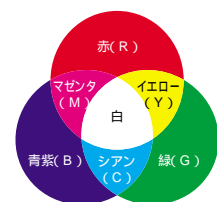
レンズの種類

レンズの種類を大きく分けると、凸レンズと凹レンズになります。中央が膨らんでいて縁が薄くなった曲面になっているものが凸レンズで、その逆に中央が薄い曲面になっているものが凹レンズと呼ばれます。凸レンズは、近くの物が大きく見える性質を持ち、凹レンズは、近くの物が小さく見えます。この特性を利用した物にメガネがあり、遠視メガネには凸レンズ、近視メガネには凹レンズが使われています。また、光を通した場合、凸レンズは屈折した光を一点に集め、凹レンズは入った光を拡げていく屈折作用があります。では、どうしてレンズを通して物を見ると像が大きくなったり小さくなったりしてみえるのでしょうか？この説明をするためには、光の原理を知っておく必要があります。

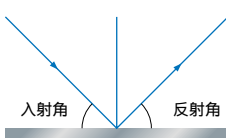
光の原理

人間が物体を見る場合、そこには必ず光が存在します。ここでいう光とは、「太陽」「電灯」「ロウソクの光」など、自ら発光する物体であり、光源と呼ばれる物です。私達が、物を見ているとき、その物体表面には光源からの光が当たり屈折し、その光が目を通して脳で再現され、物として認識しています。光源のまったく無いところ(真暗な状態)では、物を見ることはできないのは、このようなメカニズムです。人間の眼の中には、青、緑、赤を感じる細胞があり、これらの色の合成(強さ)ですべての色を合成することができ、これを「光の三原色」といいます。いろいろな光を含んだ光が物体に当たると、一部の色は吸収され、残った色だけが目に届きます。また、光は、物体に当たるとその角度と同じ角度で反射し、その角度を「入射角」反射する角度を「反射角または出射角」といいます。ただし、表面が平でない場合はその凹凸に光が当たると、全体的に反射角はいろいろな角度になります。これを乱反射といいます。

光の三原色の図



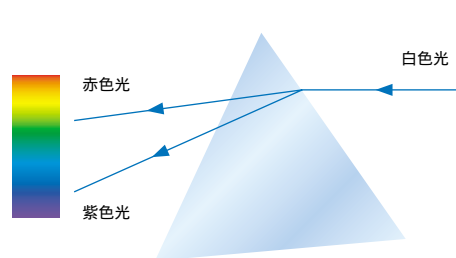
入射角の図



乱反射の図



プリズムの図



光の屈折

光は物に当たると一部は反射され、一部は物体の中に透過します。その屈折率は媒質によって異なります。(媒質とは、固体・液体・気体など光を透過する物質をいう)例えば、空気の屈折率を1とすると、水の屈折率は1.33です。水中に棒を入れたときに水面から折れて見えるのは、この屈折率の違いによるものです。この原理を数式化したものに、「スネルの法則」があります。(【スネルの法則】参照)角柱の形をしたプリズムは、太陽の光の色を分解するはたらきがあります。このプリズムで見ると、最も大きく屈折するのが紫の光で、屈折が少ない色は赤です。これは、ガラスの屈折率が色によって異なることで起こる現象です。

スネルの法則

スネルの法則とは、入射光と垂線、屈折光と垂線とが作る2つの三角形の高さの比率が一定になるという理論で、屈折率はnで示します。この法則はオランダの天文学者で数学者であるスネルによります。屈折率n=真空中の光速C / 物質中の光速V

$$n_1 = \frac{C}{V_1} \quad n_2 = \frac{C}{V_2}$$

nは、媒質1に対する媒質2の屈折率。  
[屈折率]  
空気: 1  
水: 1.33  
氷: 1.31  
石英ガラス: 1.46  
ダイヤモンド: 2.42

このプリズムによる屈折率の差を「分散」の大きさといします。

この分散の大きさは、次の数式を用いて算出することができます。

(nd:波長587.6nmの光に対する屈折率 / nF:波長486.1nmの光に対する屈折率 / nC:波長656.6nmの光に対する屈折率)

$$\text{分散} = \frac{nF - nC}{nd - 1}$$

上記の式を用いると、屈折率nDが同じでも、波長の違いによる屈折率の変化を算出できます。

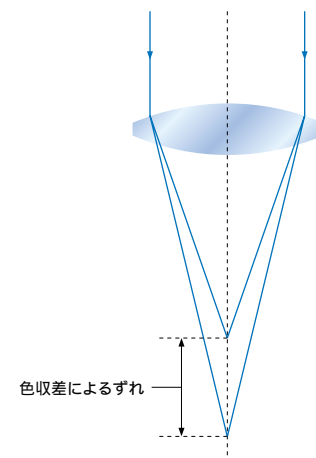
また、この逆数の値をアッペ数[ または d ]とい、屈折率の誤差による焦点位置のずれを示します。つまり、アッペ数が小さいほど光の屈折率が大きいことを示します。

$$\text{アッペ数} [d] = \frac{nd - 1}{nF - nC}$$

この光の屈折率の違いによるものがプリズムであり、どのレンズにも起こる現象です。

この光のずれが原因で像の色に誤差を生じさせることを、色収差といします。

色収差の図



ガラス以外のレンズ

レンズに使われるガラスには、屈折率が均一で光の吸収が少ない、「光学ガラス」が使用されるのが一般的ですが、ガラス以外には自然界のもの(結晶)が利用できます。これを光学結晶とい、以下はその種類です。

<水晶 / 石英 (SiO<sub>2</sub>)>

石英の中で結晶度の高いものが水晶です。無色透明で光をよく通し、すぐれた材料。現在、石英は人工的に作る事ができ、光ファイバーの材料に使用されています。

<蛍石 (CaF<sub>2</sub>)>

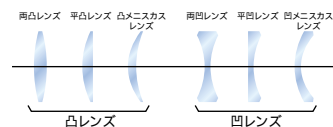
紫外線から赤外線までの光をよく通し、長い波長の光を通すことが特徴。レンズの材料としては優れているが、希少性が高く加工が難しいため、比較的高価になります。

<岩塩 (NaCl) / シリコン (Si) / ゲルマニウム (Ge)>

赤外線を良く通すことが特性で、昔から赤外線を使って物質を調べる分析装置に使われます。

レンズの種類と特性

球面レンズ  
レンズ表面が球面で、2つの物体をまんべんなくこすり合わせて、精度の高い真球面を作るとい基本的なレンズです。



非球面レンズ  
レンズ面が平均的な球面になっていないレンズです。

球面でない面は、放物面、楕円面、双曲面、4次面などです。また、回転対象軸のない非球面は、自由曲面とい、その特性から、遠近両用メガネに使用されています。

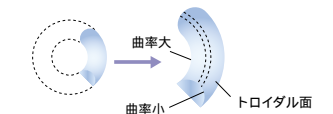
回転対称型と自由曲面



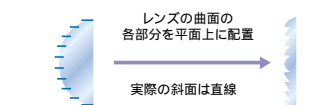
シリンドリカルレンズ  
シリンドリカルとは、「シリンダー(円筒)状」を意味し、見た目はかまぼこの形をしています。複数のシリンドリカルレンズを組み合わせて、縦と横の倍率の異なる光学系レンズができます。



トロイダルレンズ  
トロイダルとは、「円環状」を意味し、ドーナツの表面のように縦横の曲率が異なるレンズです。このトロイダルレンズは、縦と横の度数が異なる乱視用メガネなどに用いられます。



フレネルレンズ  
フレネルレンズは、薄くて軽い形状で物を拡大する用途で、プラスチック製のものが一般的です。レンズ表面は、いろいろな傾斜のプリズムを多数配置されており、ギザギザしているのが特徴です。携帯用虫メガネやカメラのストロボなどに使われています。



### ズームレンズの特徴

ズームレンズは、ズームリングを回転するだけでレンズの倍率を変えられるので、レンズを交換しなくても倍率を変更できることで、素早く観察することができます。

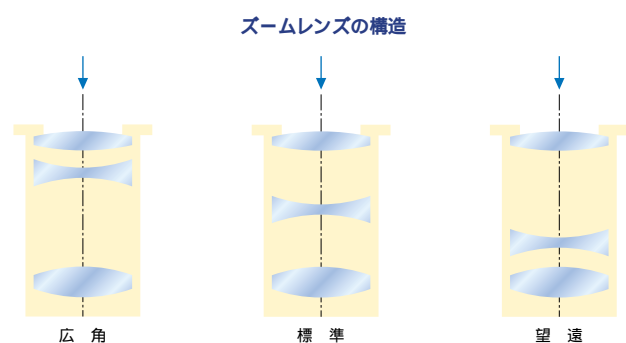
普通の顕微鏡の場合はレボルバーを使って4種類くらいしか変えられませんが、ズームレンズは、高倍率で観察する場合も、低倍率で目標を決めて低倍率から高倍率までニアに倍率を変えられるのが便利です。また、レンズを複数本揃えるよりもコンパクトで、複数本揃えるよりも安価で済みます。ただし、固定倍率レンズに比べて、1本あたりの単価が高価であることや、固定倍率レンズに比べて、1本あたりの大きさが大きい、重いという問題点もあります。しかし、長所が非常に優れているため、実際にはほとんどの場合、ズームレンズが採用されています。

### ズームレンズのしくみ

光学関係では、単一のレンズを「単レンズ」、一枚または複数枚のレンズを組み合わせて機能を持たせるよう開発されたものを「光学レンズ」と呼びます。

実際のレンズ製品は、複雑なレンズにより構成され、そのレンズ設計技術により、機能は飛躍的に高められています。

ズームレンズは、組み合わせる一つ一つのレンズの間隔を変えることで、焦点距離が変わり、広角レンズや望遠レンズの役割を果たします。



### ズームレンズの性能と評価

普通のレンズでは、像がぼやけたり、歪んだりします。この現象を「収差」といい、完全に収差のないレンズを作ることは不可能ですが、レンズメーカーはより収差の少ない、また補う性能をもつレンズ開発を行っています。その他に、レンズの性能を示す数値として、「開口数(NA)」や、「焦点深度 / 被写界深度」があります。

### 収差

レンズに入った光は、レンズの焦点位置で1点に集まりますが、光の波長によって焦点位置は厳密には完全な1点に集まるのではなく、わずかながらズレがあります。このズレのことを収差といい、このことにより、像ができる位置がずれ、像に色がついたり、像の色がにじんだりします。また、光の軸からずれたところで像に尾が伸びたり、歪んでしまう現象などもあります。

収差が少ないほど、良いレンズと言えます。一般には、収差は中心部より周辺部に顕著に現れます。収差を完全になくすることはできませんが、複数枚のレンズの組合せにより、収差による画質の低下を低減するよう設計、製造されています。

#### 収差の特徴

収差にはいくつかの種類があり、レンズに収差があると次のような現象が起こります。画面の中心部はピン트가合っているのに、周辺部はピンボケになる。直線が曲がって見える。(周辺部ほど起こりやすい) 小さい点を観察したときに、点でなく彗星のように尾を引く。色ズレを起こす。

### 開口数(NA)

開口数(NA)とは、Numerical Apertureといい、NAと略されています。NAは、光学系の明るさや解像力を表す数値です。光軸上の物体が入射するレンズの有効系とした定義を示します。

(N:物体周囲の媒体の屈折率 / 空気の場合は1)  
 $NA = N \sin$

光には、波のように広がる現象があり、回折とします。このことにより、収差のない高性能レンズを使用しても、像は1点に集めることができず、円盤状に広がります。開口数(NA)は、収差のない場合の集光限界を表しているのですが、これは、光が波の性質を持つことによるとされ、この限界値を回折限界といわれます。また、この円盤状の波のことをエアリーディスクといわれます。エアリーディスクの半径(波幅)は、以下の数式で表されます。(λ:光の波長 / NA:開口数 / 0.61:定数)

$$r = \frac{0.61 \lambda}{NA}$$

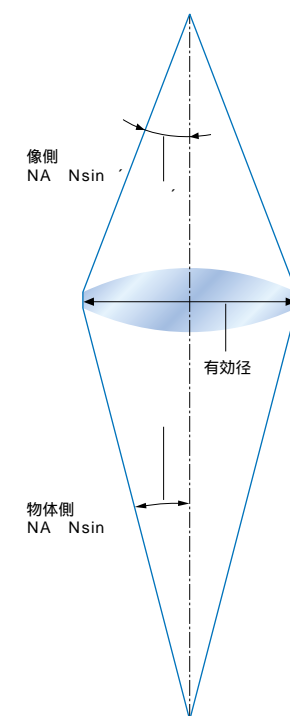
この数式によって割り出された値を「分解能」といいます。この数式によると、開口数(NA)が大きいほど、エアリーディスクの半径が小さく、つまり、開口数(NA)が大きいほど像はシャープに再現されることとなります。これらは、レンズを評価する上での共通の値となっています。

### 被写界深度

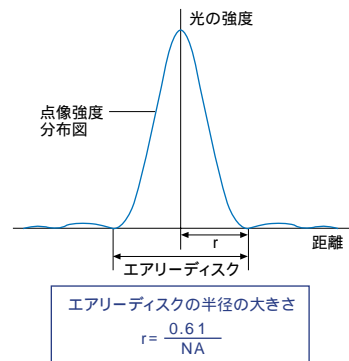
レンズでスクリーンに物体の像を映すとき、レンズと物体の距離を多少変えても像がぼやけない範囲があります。つまり、観察対象物は、レンズの焦点位置にあるとき最も鮮明に見えますが、対象物が近づいたり遠ざかったりした場合でもピン트가合っている許容範囲であり、これを「被写界深度」といいます。

許容範囲の広いレンズが「被写界深度が深いレンズ」、許容範囲が狭いレンズは「被写界深度が浅いレンズ」となります。被写界深度が深いと、凹凸のある対象物を観察してもピン트의合う範囲が広いので観察しやすく、正確に素早く全体を観察できるというメリットがあります。

開口数(NA)の定義の図



### エアリーディスク



### 像の倍率と明るさ

顕微鏡で見る像の明るさは、光源の輝度に比例します。光源の明るさが同じ場合、

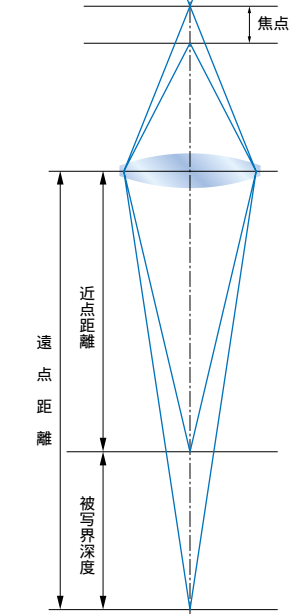
(対物レンズの開口数(NA) / 総合倍率M)<sup>2</sup>に比例します。

総合倍率が同じ場合は、開口数の大きい対物レンズを使用するほうが明るくなり、観察しやすくなります。

### 被写界深度の比較

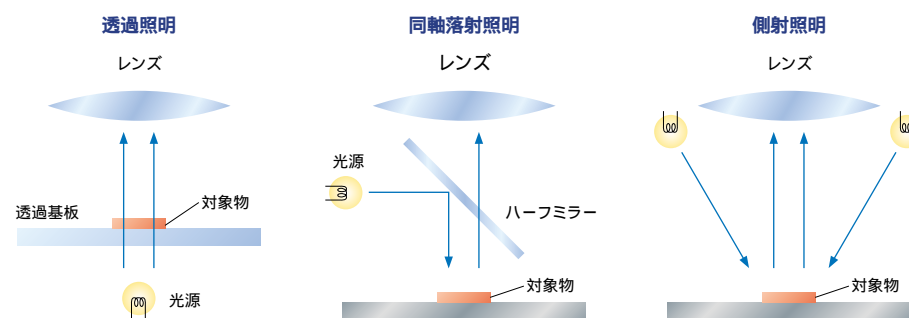


被写界深度の図



顕微鏡の照明方法と種類

顕微鏡の照明方法は、大きく2つの種類に分けられます。  
1つは、照明の光を透明な対象物を通して、レンズで屈折させることで拡大する方法で「透過照明」といい、光を対象物の上から照射し、表面から反射した光がレンズを通し屈折することで拡大する方法を「落射照明」といいます。  
落射照明には、「同軸落射照明」と「側射照明」があります。  
同軸落射照明は、レンズの光軸と同じ方向から光をあてる方法で、明視野観察ができます。  
側射照明は、レンズの横から斜めに光をあてます。凹凸による陰影ができるので、輪郭をはっきりととらえることができます。



手持ち観察

内蔵照明の効用のひとつに手持ち観察があります。レンズと照明の位置関係が固定されているので、カメラを手で対象物にあてて観察することができます。大きな対象物も加工せずに観察できます。



デジタルマイクロスコップの内蔵照明

デジタルマイクロスコップの照明は、レンズに内蔵されています。  
本体の光源から光ファイバを使って光を導いて、レンズ光源から照射する設計になっています。レンズに照明を内蔵すると、そのレンズの観察距離や視野の大きさに合わせて光の分布を設計できるので、そのレンズに最適な照明環境を作ることができます。それにより、照明の位置調整をすることなく、簡単に適切な照明が得られるというメリットがあります。

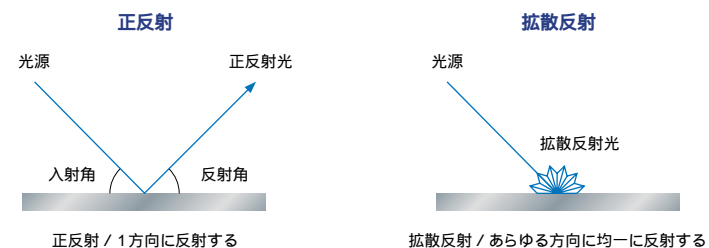


対象物と観察目的に合わせた照明

デジタルマイクロスコップの内蔵照明は、ほとんどの対象物で適切な照明環境になるよう設計されていますが、対象物の表面状態や形状、また、観察目的によっては少しの工夫でさらにきれいな画像で観察できるようになります。つづいて、いくつかの照明テクニックを紹介します。

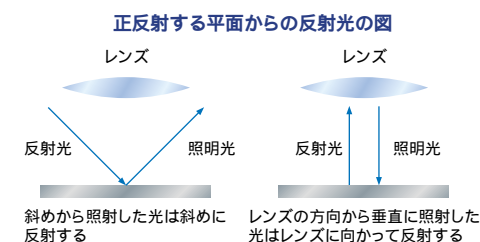
正反射と拡散反射

対象物に光を照射したときの反射のしかたには、正反射と拡散反射があります。  
正反射の代表的なものは鏡で、ほとんどの光が光を当てた角度(入射角)と同じ反射角で反射します。表面に細かな凹凸があると、光は乱反射し、あらゆる方向に反射します。コピー紙のようなつやのない紙などは、拡散反射するものの一例です。  
ほとんどのものは、これら正反射と拡散反射の両方が同時に起きています。ものによって、正反射が多いもの、拡散反射が多いものがあります。表面につやのあるものは正反射が多く、つやのないものは拡散反射が多いといえます。

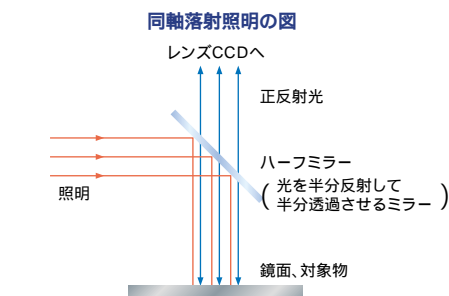


光学照明テクニック 同軸落射照明

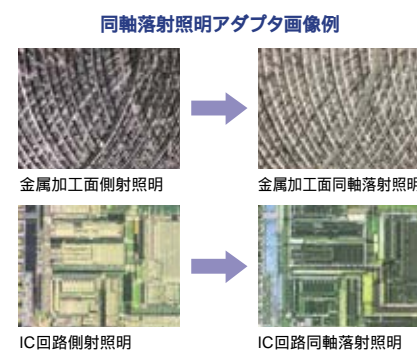
[正反射する平面からの反射光]  
金属鏡面や表面がなめらかな樹脂、半導体ウェハなど、正反射する対象物では、斜めからの照明では反射光がレンズに十分に入光せず、光量が不足することがあります。  
また、凹凸ではなく表面の光沢や組織の違いを観察したい場合も、正反射光をとらえることできれいに観察することができます。



[同軸落射照明]  
上図右側のように、レンズ方向から照明を垂直に照射する方法を、「同軸落射照明」といいます。  
同軸落射照明を作るためには、左図のようにハーフミラーを用いて、対象物に照射する照明の光軸とレンズの光軸を一致させます。

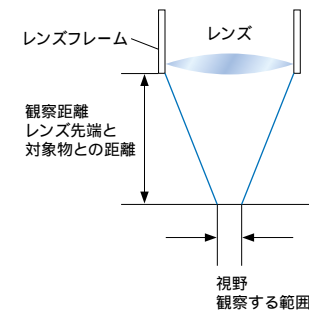


[キーエンス同軸落射照明レンズと同軸落射照明アダプタ]  
キーエンスマイクロスコップのレンズには、同軸落射照明に必要な光学系を内蔵したズームレンズがあります。同軸落射照明系を内蔵していないレンズでも、アダプタを取り付けることで同軸落射照明を用いることができます。  
また、同軸落射ユニットに照明用光ファイバを接続すると、内蔵の光学系の働きにより同軸落射照明で観察することができます。



観察距離と視野

観察距離とは、ワーキングディスタンス(WD)ともいい、レンズのピントが合って最も鮮明に見えるとき、対象物とレンズの距離のことです。焦点距離との違いは、焦点距離はレンズからの距離に対して、観察距離は照明ヘッドなどを含むレンズ部の先端からの距離になります。



同軸落射照明内蔵ズームレンズ



同軸落射照明アダプタ



型式と倍率

デジタルマイクロスコップのレンズ倍率は、観察対象物を15型モニタに映した時の大きさで表現されます。例えば、1mmの長さの物を100倍のレンズで見ると、15型モニタ上では、約100mmの長さに映ります。

型式	倍率
VH-Z75	75 ~ 750倍
VH-Z100	100 ~ 1,000倍
VH-Z450	450 ~ 3,000倍
VH-Z500	500 ~ 5,000倍

型式	適合レンズ	倍率
OP35416	VH-Z25	25 ~ 175倍
	VH-Z35	35 ~ 245倍