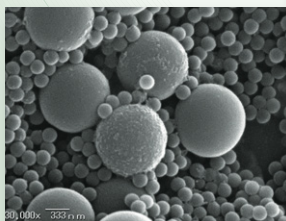
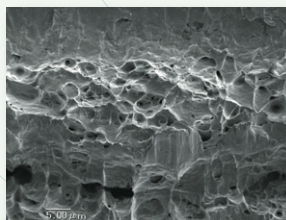


走査型電子顕微鏡ガイドブック

# 知って得するSEMの活用法

Lesson.2 \* SEM観察の基礎テクニック



# 1章 ＊加速電圧の使いかた

## 加速電圧とは

電子銃から放出された電子を試料に照射する際に、電子を加速するために印加されるのが加速電圧です。加速電圧を高くすると、照射される電子は高い運動エネルギーを持ち、速い速度で試料に照射されます。



加速電圧の特性

## 加速電圧と分解能の関係

電子は粒子としての性質（粒子性）と同時に光と同じような波としての性質（波動性）をもつことが知られています。波として考えた場合、電子ビームの波長は加速電圧により変化します。

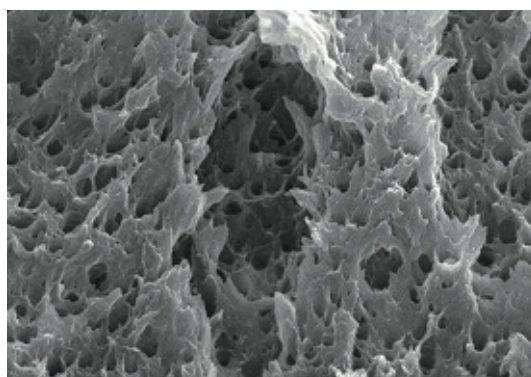
波長は  $\lambda = \left( \frac{1.5}{V} \right)^{\frac{1}{2}}$  （ $\lambda$ ：波長（nm）、 $V$ ：加速電圧）という式で求められます。

この式からもわかる通り、加速電圧が高いほうが波長が短くなります。

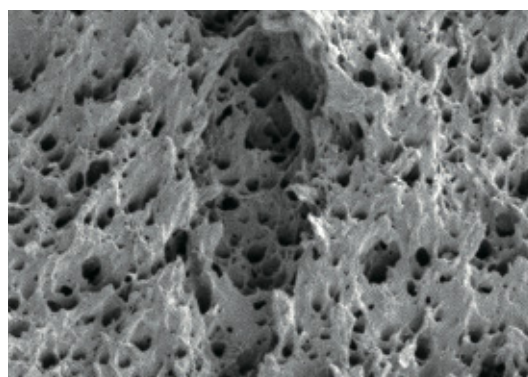
画像の分解能は、光軸のスポットが小さいほど高くなります。

スポットをどこまで細く絞れるかは、波長に依存しており、波長が短ければ短いほど細く絞れます。

したがって、波長が短くなる高加速電圧で観察するほうが高分解能が得られ、高倍率観察に適しています。



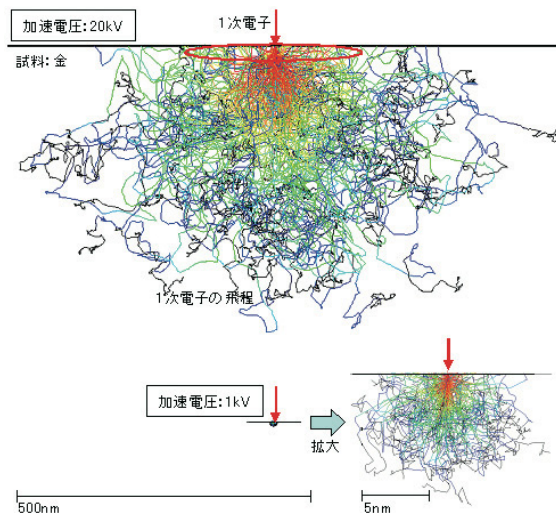
高倍率高加速電圧像（輪郭がシャープに見える）



高倍率低加速電圧像

## 加速電圧と表面構造の見え方

SEMから試料に照射される電子線を一次電子といいます。試料に照射された一次電子が散乱を起こし試料中を移動する距離を「飛程」と呼びます。加速電圧が変わるとこの飛程も変化し、加速電圧が高くなるほど飛程は長くなります。

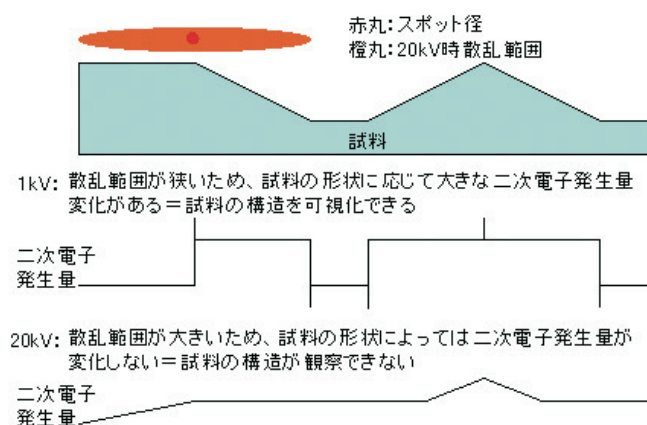


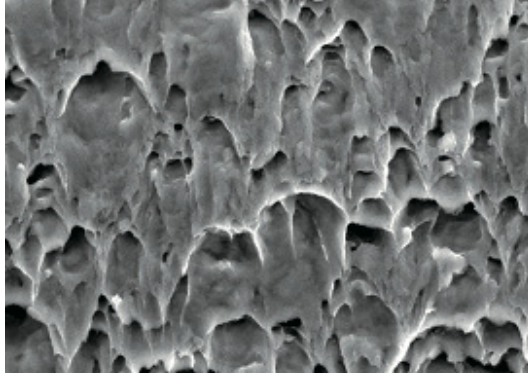
加速電圧20kVと1kVの散乱領域の比較

一次電子が散乱を起こすと、その進行方向も変わります。一次電子が試料の広範囲に散乱した場合、試料の広い範囲から二次電子が飛び出てきます。

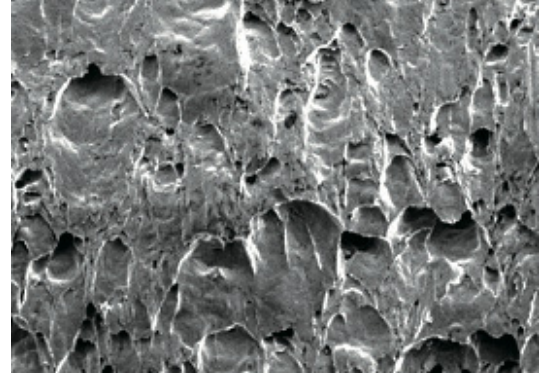
このため高加速電圧で一次電子を照射すると、試料の広い範囲の形状を平均した二次電子発生量になります。これにより観察像は、大きなスポット径で観察したようなのっぺりとした像になります。微細な表面形状を観察するにはできません。

飛程の短い低加速電圧では、二次電子が発生するのは一次電子が照射された極狭い領域になります。そのため極狭い範囲の試料の表面構造変化に対して二次電子の発生量が変化することで、試料の微細な構造を観察することができます。





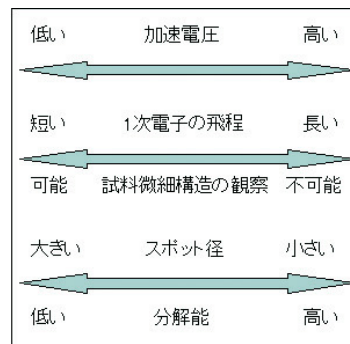
高加速電圧像  
(エッジ部はシャープだが面の凹凸が見えない)



低加速電圧像  
(同じ場所の画像で面の凹凸が見えている)

## 加速電圧と見え方のまとめ

加速電圧が高い方が画像の分解能が高くなります。これは、輪郭やエッジがシャープに見えることを意味します。一方、加速電圧が低いほうが試料表面の微細構造が見えます。これは、平面上の細かな構造が像に現れるかどうかです。



高倍率では分解能の違いで見え方が変わりますが、低倍率の場合には加速電圧変更で分解能が変化しても画像にダイレクトに表れることはありません。

最近のSEMはPC化されており、画像はデジタル画像として取り込まれます。仮に1000倍で撮影するときのデジタル画像1画素あたりの寸法が100nmだとすると、SEMのカatalogに記載されている数nmレベルの分解能を再現する必要はありません。

したがって、特に初めて観察する試料においては、「最初は低加速電圧から始めて、倍率が必要で分解能が不足していると感じたら加速電圧を上げていく」という方法が賢明です。



キーエンス製VEシリーズには、「eプレビュー」機能が標準装備されています。eプレビュー機能は、選択された試料分類に合わせて4種類の画像を自動取得し、ユーザーは4枚の画像から最適なものを選択するだけで観察条件が決められる機能です。eプレビュー機能の設定パラメータには加速電圧の変更も含まれています。

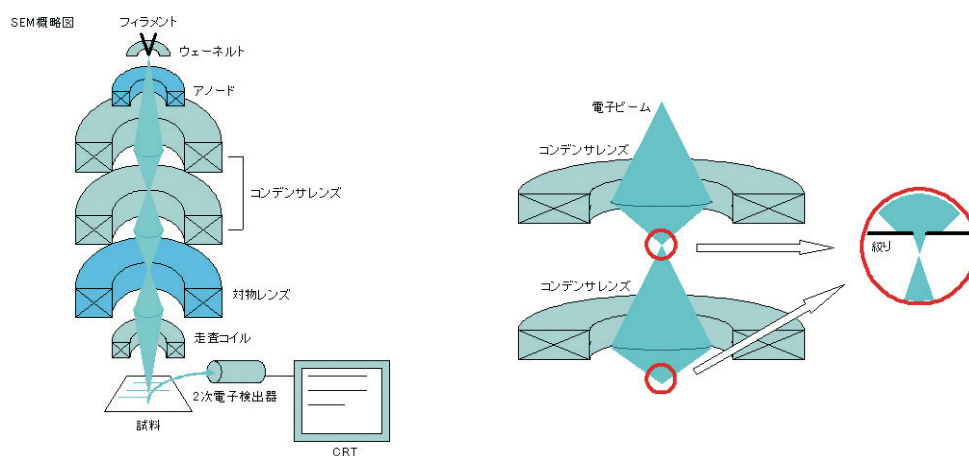


## 2章 ＊ スポット径の使いかた

### スポット径とは

SEMの分解能は試料に照射される一次電子がどれだけ細く絞れるかに依存します。そのひとつの要素として加速電圧があり、加速電圧が高いほど高い分解能が得られることはすでに学びました。

これとは別に、SEMの電子光学系において絞りをを用いて一次電子を細く絞る機構があり、スポット径調整とよびます。



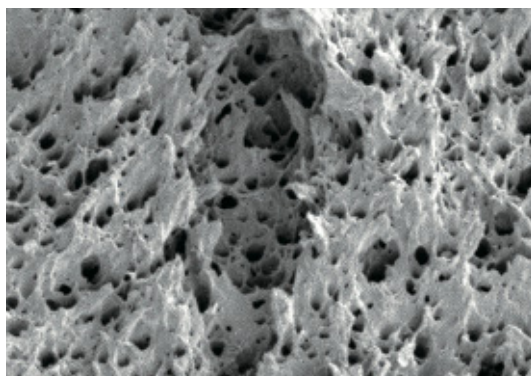
#### コンデンサレンズによるスポット径調整

コンデンサレンズは電子線をより大きな角度で収束することで、電子線を細くしています。この収束する角度が可変できるようになっており、これが「スポット径」調整です。

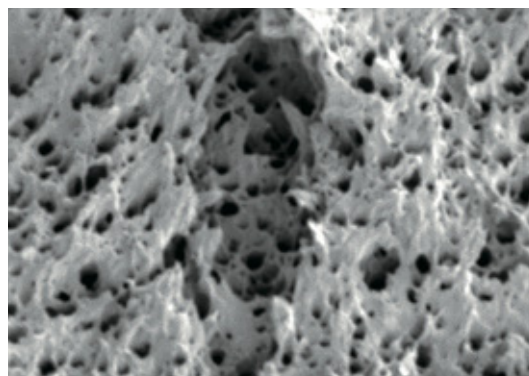
収束する角度を大きくすると、電子線を小さく収束するとともに電子線周辺の収束しにくい電子を絞りで遮断します。

### スポット径調整と画像の関係

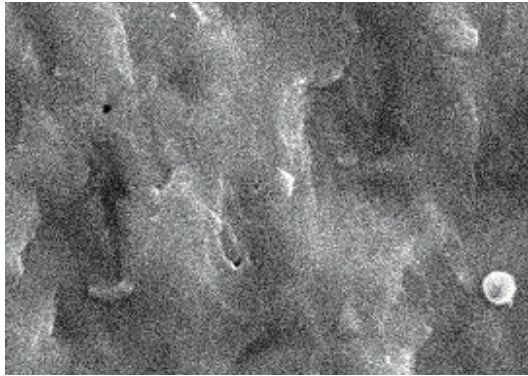
スポット径を小さくすると画像の分解能が高くなります。一方、スポット径を小さくすると絞りで遮断される電子が増えて試料に照射される一次電子が減少するため、観察に利用する二次電子の発生量も減少して、観察像のS/N比が悪くなります。



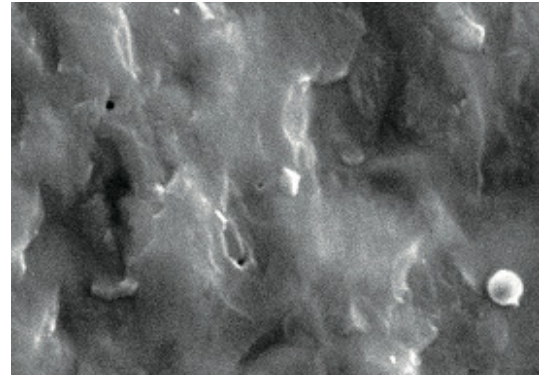
高倍率スポット径小(分解能が高い)



高倍率スポット径大(分解能が低い)



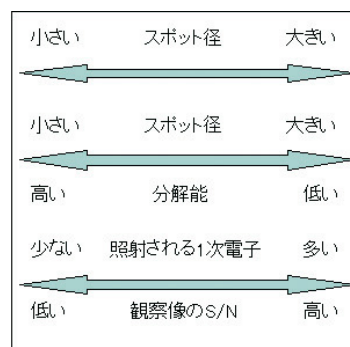
高倍率スポット径小(ノイズが多い)



高倍率スポット径大(滑らかな画像)

## スポット径の使いかた

むやみにスポット径を小さくすることが良い観察像を得ることになりません。スポット径の調整は観察像のシャープさとノイズとのトレードオフと理解して、観察倍率に応じて変更する使い方が良いでしょう。



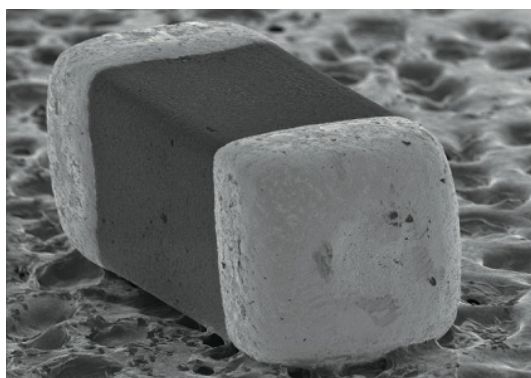
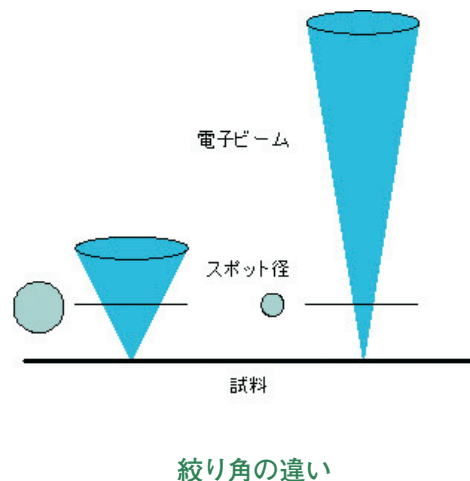
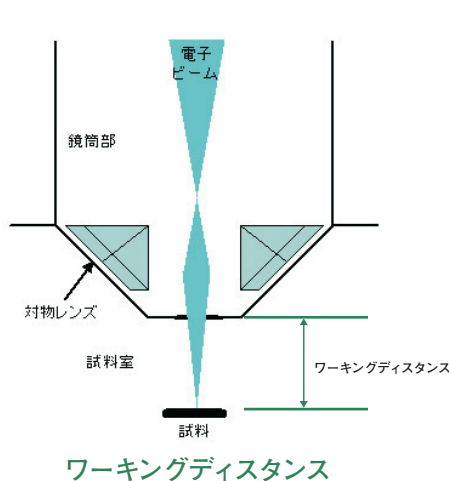
スポット径を小さくしたいがノイズも気になる場合の改善方法として、撮影方法の変更があります。撮影時のスキャン速度を遅くすることで、得られる信号量が増加してノイズが軽減できます。キーエンス製VEシリーズでは撮影モードで[撮影 きれい]を選択すると改善されます。

# 3章 ＊ワーキングディスタンスの使いかた

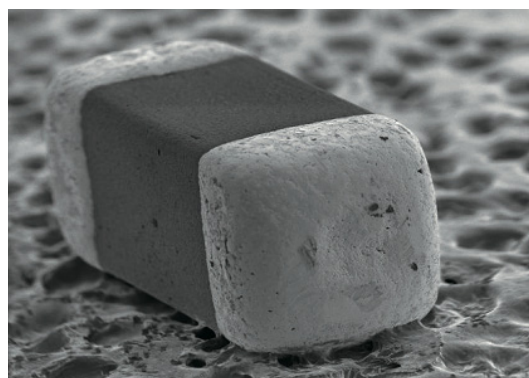
## ワーキングディスタンスと被写界深度の関係

ワーキングディスタンスは、試料表面と試料室上部にある対物絞りの距離です。SEMは対物コイルによって広い範囲にわたって焦点距離を変化させることができます。ワーキングディスタンスを変えることで被写界深度と分解能に変化が現れます。

被写界深度とは、観察距離が変わってもピントがぼけない範囲ですが、本来SEMは光学顕微鏡と比べて格段に被写界深度が深いことが知られています。同じSEMでもワーキングディスタンスを長くすると被写界深度が深くなります。ワーキングディスタンスが長くなると電子線の絞り角が小さくなります。絞り角が小さいと焦点位置から外れた場合でもスポットが大きくなりえないためピントがぼけずに観察できます。



ワーキングディスタンス30mm  
(奥までピントが合っている)



ワーキングディスタンス8mm  
(奥ではピントがぼけている)

ワーキングディスタンスを長くすると被写界深度が深くなりますが、スポット径は大きくなりますので、高倍率観察時には分解能が低下します。被写界深度と分解能はトレードオフと認識し、目的による使い分けると良いでしょう。

## 4章 \* まとめ

本書で紹介しました「加速電圧」「スポット径」「ワーキングディスタンス」を目的別にまとめると下表のようになります。

	加速電圧	スポット径	ワーキングディスタンス
高倍率で高分解能で観察したい	高くする	小さくする	短くする
最表面の凹凸を観察したい	低くする	※1	※2
被写界深度を深くしたい	※3	※1	長くする
ノイズの少ない画像が撮りたい	※3	大きくする	※2

※1: スポット径を小さくすると分解能が高くなります。大きくするとノイズの少ない滑らかな画像になります。

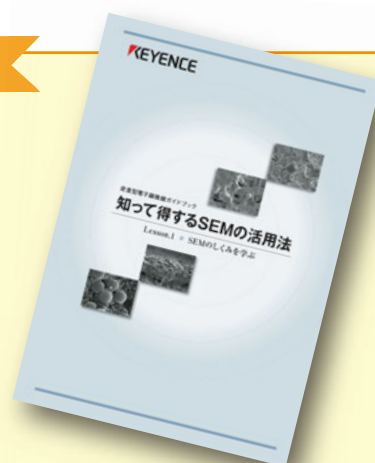
※2: ワーキングディスタンスを短くすると分解能が高くなります。長くすると被写界深度が深くなります。

※3: 加速電圧を高くすると分解能が高くなります。低くすると表面の凹凸が見えやすくなります。

### 既刊ご案内

#### 「知って得するSEMの活用法 LESSON.1 \* SEMのしくみを学ぶ」

SEMの基本原理、特徴、構造や観察像を映すしくみなどをやさしく解説しています。



デジタル顕微鏡の最新ソリューションを探せる

— [www.keymsp.jp](http://www.keymsp.jp) —

顕微鏡 お客様相談窓口 ▶



0120-739-007

専用メールアドレス [mtech@keyence.co.jp](mailto:mtech@keyence.co.jp)

株式会社 キーエンス

本社・研究所／マイクロ스코プ事業部

〒533-8555 大阪市東淀川区東中島1-3-14 Tel 06-6379-1141 Fax 06-6379-1140

[www.keymsp.jp](http://www.keymsp.jp) 記載内容は、発売時点での弊社調べであり、予告なく変更する場合があります。

Copyright© 2008 KEYENCE CORPORATION. All rights reserved.

SP

K2102T-0109-1