

SEMを使いこなそう！

ごあいさつ

この度は「SEMを使いこなそう！」をご覧いただき、ありがとうございます。

SEMの特長といえば、より高い倍率まで観察できる点や、ピントの合う範囲が広いといった点がまず挙げられますが、観察設定の自由度が高いという点も大きな魅力の一つです。この自由度の高さを生かし、試料に応じて設定を変えながら観察することが、良い観察像を得るためのポイントです。

「SEMを使いこなそう！」では、SEMの設定による観察像の変化を説明しております。この資料が、皆様のより良いSEM観察に少しでもお役に立てれば幸いです。

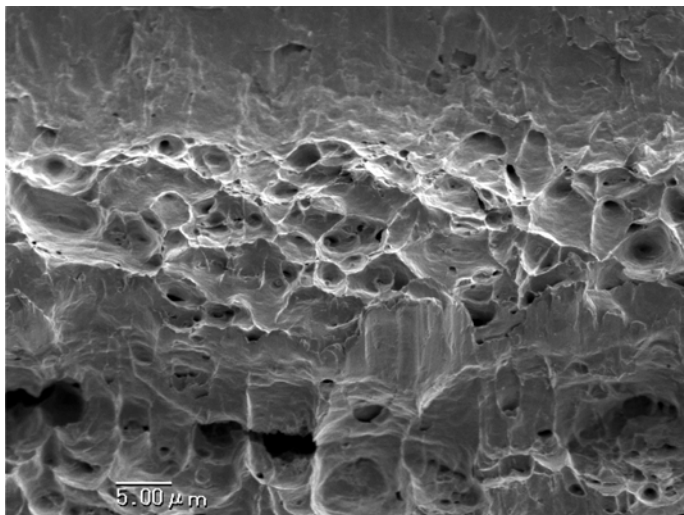
目次

ごあいさつ	…1	V. 非蒸着で観察してみよう	…26
目次	…2	i. 蒸着する理由	…27
I. 加速電圧を変えてみよう	…3	ii. 帯電(チャージアップ)と観察像	…28
i. SEMの仕組み	…4	iii. 非蒸着観察1-低真空観察	…29
ii. 2次電子の発生量	…5	iv. 低真空観察での観察信号	
iii. 2次電子の観察像	…6	-反射電子	…30
iv. 1次電子の振る舞い	…7	v. 非蒸着観察2-低加速電圧観察	…31
v. 加速電圧と飛程	…8	vi. 観察法で変わる見え方-1	…32
vi. 飛程と観察像	…9	vii. 観察法で変わる見え方-2	…33
vii. 加速電圧とスポット径	…10	VI. 試料の傾きを変えてみよう	…34
viii. スポット径と観察像	…11	i. 傾斜時の注意点-	
ix. 加速電圧の選び方	…12	試料高さや位置	…35
x. 加速電圧で変わる見え方	…13	ii. 試料傾斜の+α効果	…36
II. スポット径を変えてみよう	…14	iii. 試料傾斜の+α効果例	…37
i. スポット径調整の仕組み	…15	VII. 立体視をしてみよう	…38
ii. スポット径の選び方	…16	i. 立体視の仕組み	…39
iii. スポット径で変わる見え方	…17	ii. 視差画像の撮影方法	…40
III. 観察距離を変えてみよう	…18	iii. 立体視サンプル(平行法)	…41
i. 観察距離とスポット径	…19	iv. SEMによる3Dモデル構築	…42
ii. 観察距離と被写界深度	…20	v. 3Dモデルサンプル	…43
iii. 観察距離の選び方	…21	新世代SEMのご紹介	…44
iv. 観察距離で変わる見え方	…22	比べて下さい。従来のSEMと	…45
IV. 非点収差調整をマスターしよう	…23	お問い合わせ窓口/連絡先一覧	…46
i. 非点収差とは？	…24		
ii. 非点調整の手順	…25		

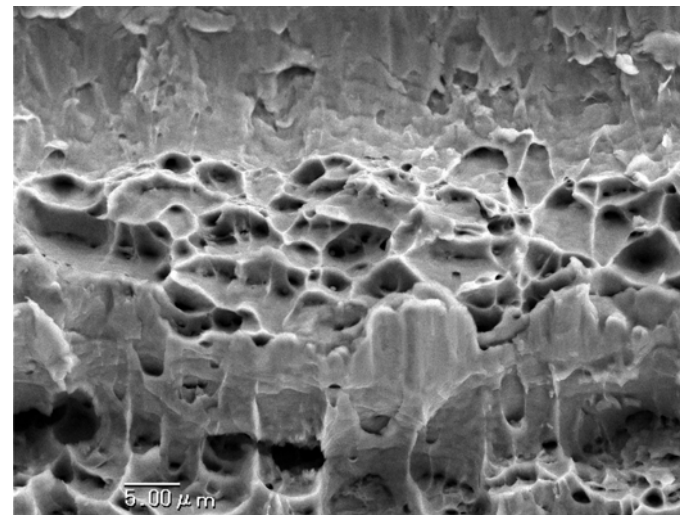
I . 加速電圧を変えてみよう

SEMの調整項目に「加速電圧」があります。
「加速電圧」は、試料に照射する電子の速さです。
「加速電圧」を変えると、同じ試料でも見え方が大きく変化します。

低加速電圧
(低速で電子を照射する＝電子のエネルギーが低い)

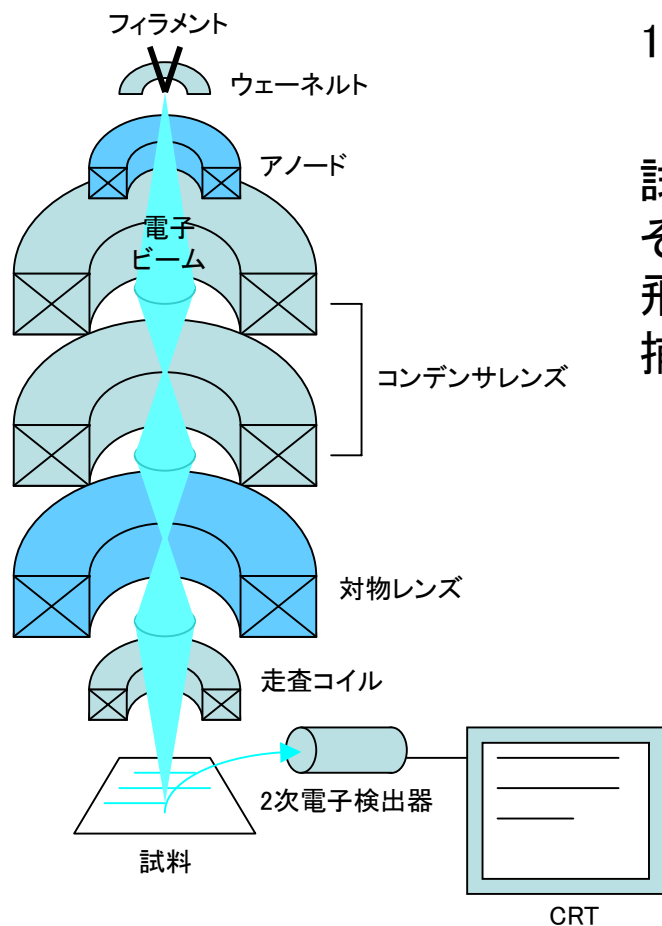


高加速電圧
(高速で電子を照射する＝電子のエネルギーが高い)



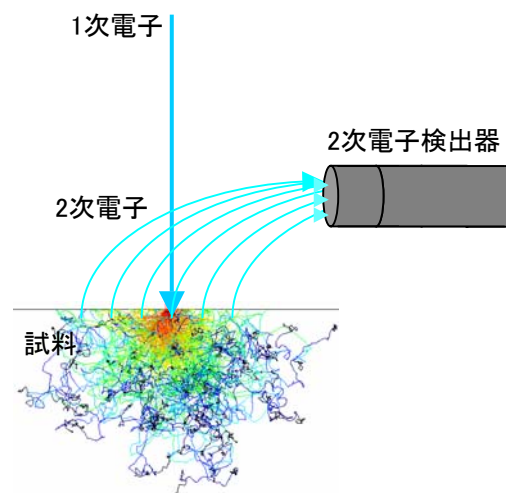
I - i . SEMの仕組み

SEM概略図

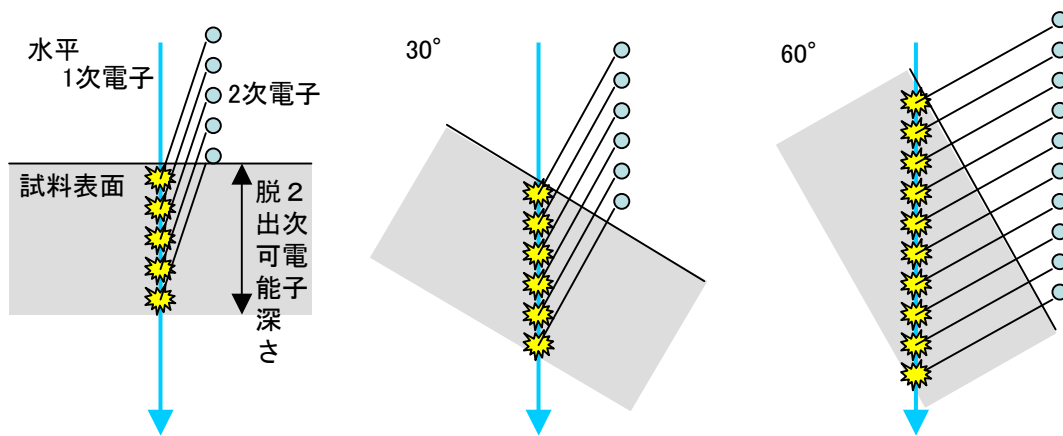


SEMは、試料に電子を照射して観察します。
1本の細い電子ビームで試料表面を走査しています。

試料に照射された1次電子は、試料内部で2次電子を発生させ、その一部が、試料表面から飛び出てきます。
飛び出した2次電子を検出器に吸い寄せて捕捉します。
捕捉した2次電子の量が観察画面の明暗として表されます。



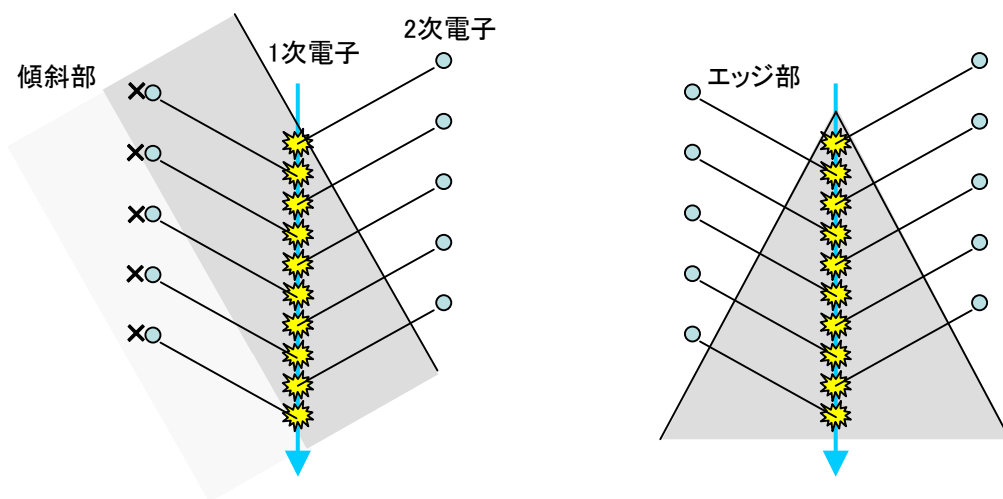
I - ii . 2次電子の発生量



2次電子の傾斜角効果

2次電子は、エネルギーが小さいため、試料内部をごくわずかな距離しか進むことができません（極浅い部分からしか飛び出してこれません）。

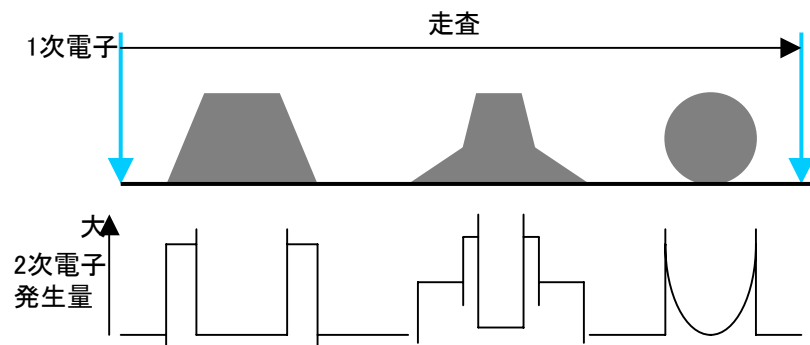
これにより試料の傾斜が大きいほど、試料から飛び出してくる2次電子の量が多くなります。



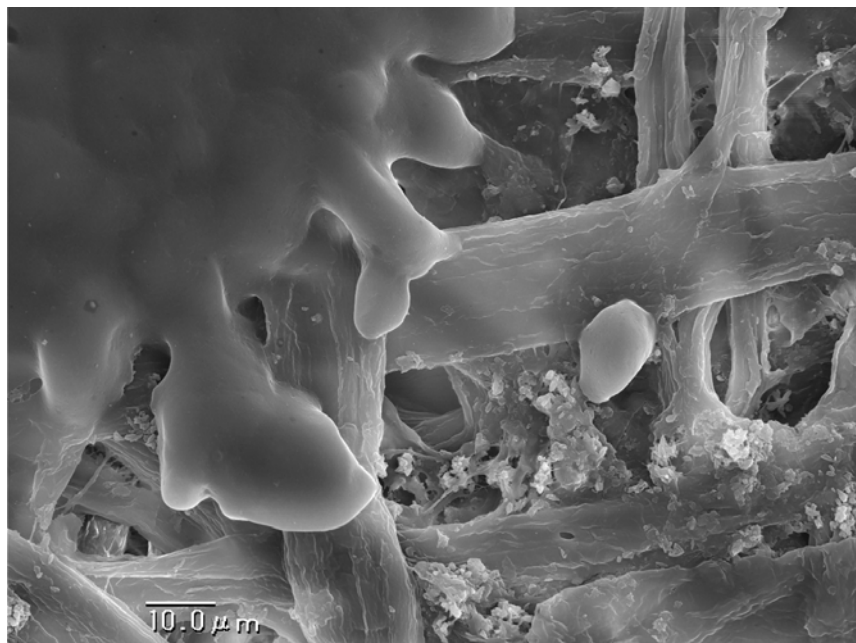
2次電子のエッジ効果

2次電子は、試料の中のあらゆる方向に向かって発生します。斜面の片側からしか脱出できない傾斜部より、両側から脱出できるエッジ部の方が、試料から飛び出してくる2次電子の量が多くなります。

I - iii. 2次電子の観察像

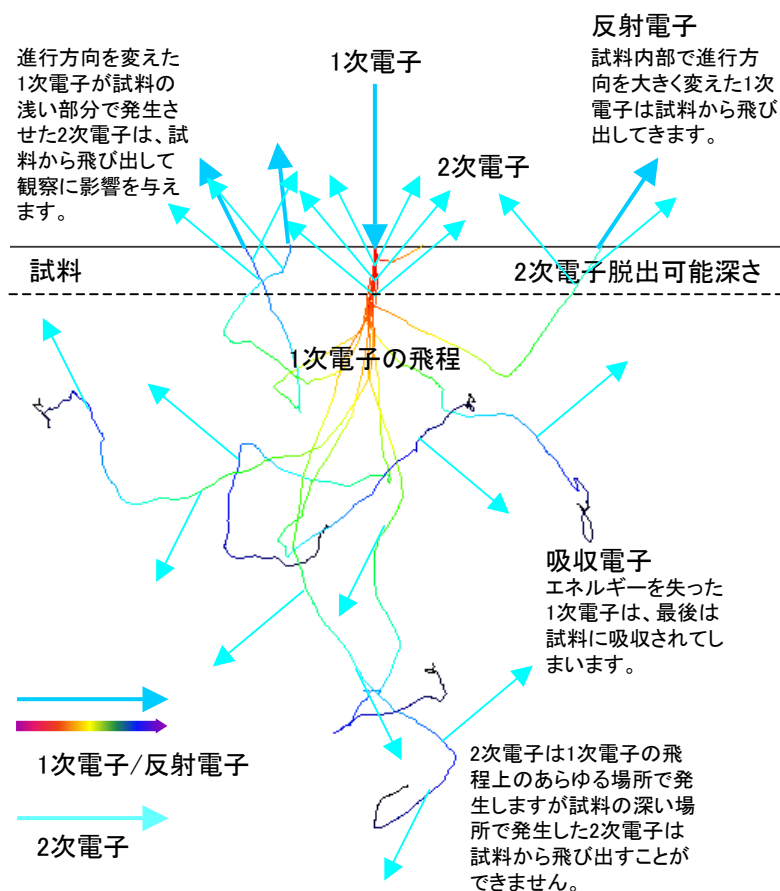


前頁「2次電子の発生量」で見たように、2次電子の発生量は、水平な部分で少なく、傾斜が大きくなるほど多くなります。発生量が最も多くなるのがエッジ部で、鋭角であるほど多くなります。逆に最も少なくなるのが谷部が、こちらも鋭角になるほど少なくなります。



上記の通り、2次電子の発生量は、試料の傾斜に応じて決まるため、この発生量を調べることで、試料表面の形状を表すことができます。SEMでは、2次電子の発生量の多い部分を明るく、少ない部分を暗く表現しています。左の写真でも平らな部分が黒く、傾斜部が傾斜に応じたグレーの濃淡、エッジ部になる輪郭は白で表現されています。

I - iv . 1次電子の振る舞い



※2次電子や反射電子の他にも、特性X線、オージェ電子、カソードルミネッセンスが発生しますが、簡略化するため省略しています

試料に照射された1次電子は、そのエネルギーに応じて試料内部を進んでいきます。これを1次電子の「飛程」と呼びます。

1次電子は、試料内部を進む間に、その飛程上で2次電子を発生し続けます。試料の深い部分で発生した2次電子は、試料から飛び出してくることができないため、観察像に影響を与えません。

1次電子は、2次電子を発生させることで少しずつエネルギーを失い、最後には吸収電子として試料に吸収されてしまいます。

また試料の原子と衝突することで進行方向が大きく変わり、試料から飛び出してくる1次電子もあります。

1次電子が進む方向を変えて試料から飛び出してきたものを反射電子と呼びます。

反射電子が試料の浅い部分で発生させた2次電子は、試料から飛び出してくるため観察像に影響を与えます。

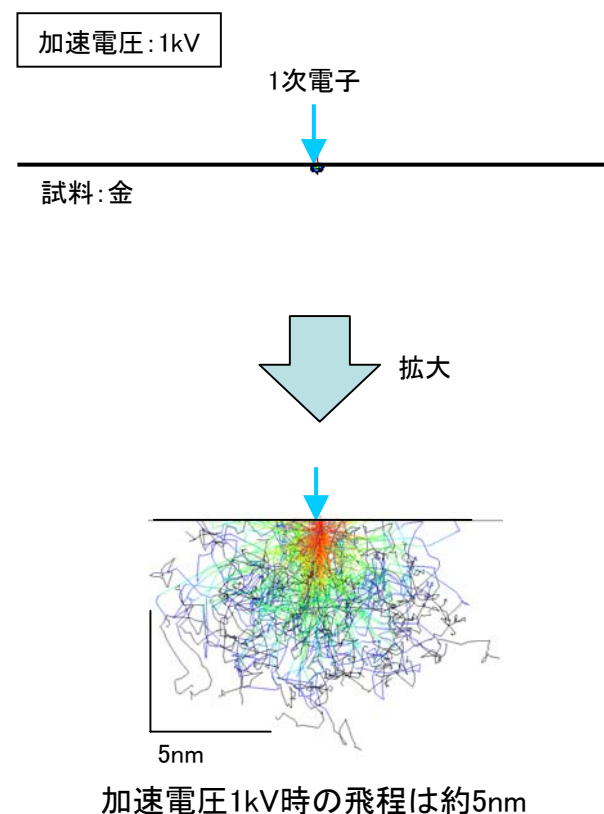
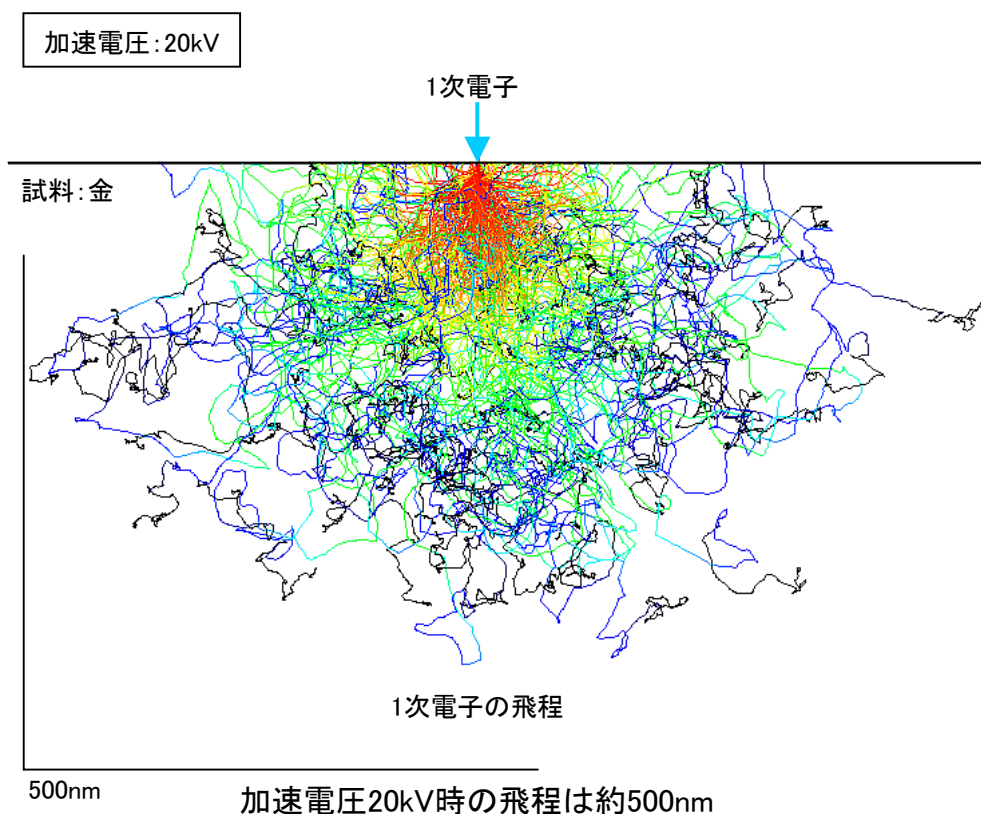
3Dリアルサーフェスビュー顕微鏡

I - v . 加速電圧と飛程

加速電圧とは、電子を試料に照射する強さです。

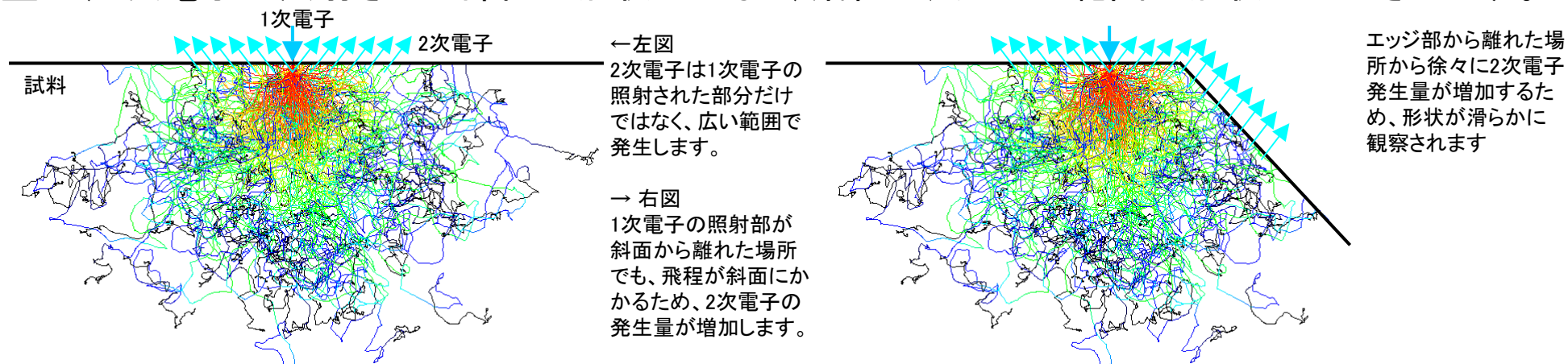
高い加速電圧で照射された電子は、大きなエネルギーを持っているため、試料内部で長い距離を進みます（飛程が長い）。

低い加速電圧ではその逆になり、試料内部でわずかな距離しか進めません（飛程が短い）。

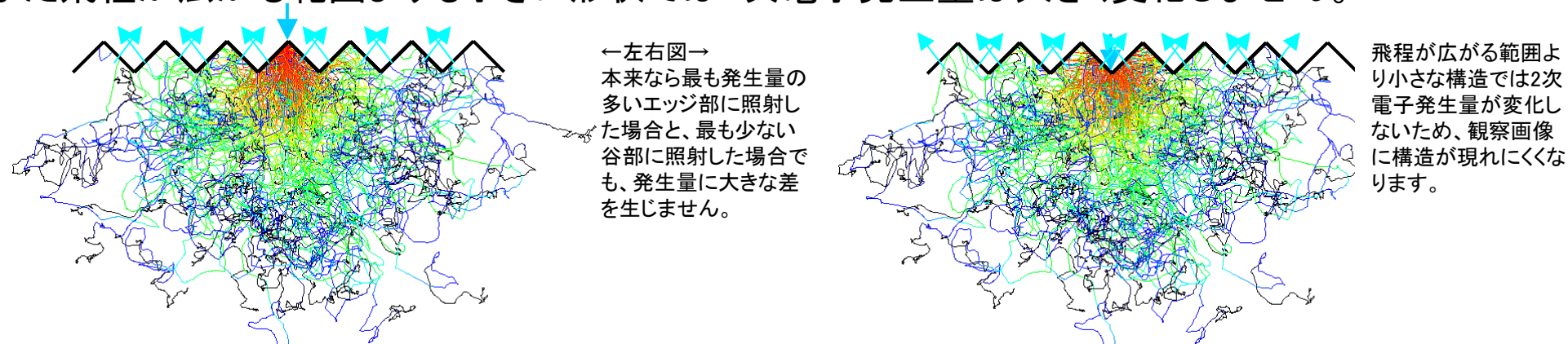


I - vi. 飛程と観察像

飛程が長くなると、表面に戻ってくる1次電子の飛程が広い範囲に広がります。この1次電子が発生させた2次電子は、試料から飛び出して観察像に影響を与えます。この時の2次電子の発生量は、1次電子が照射された部位の形状ではなく、飛程が広がった範囲の形状に左右されます。



また飛程が広がる範囲よりも小さい形状では2次電子発生量は大きく変化しません。

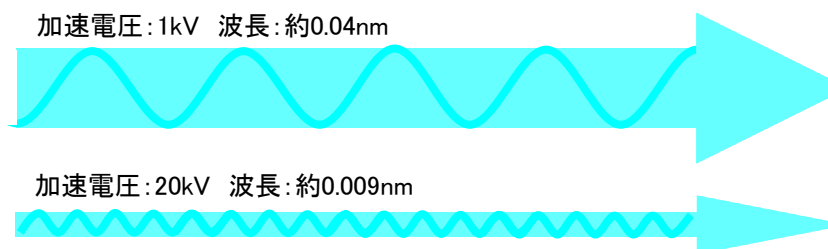


I -vii. 加速電圧とスポット径

電子ビームにも波長があり、この波長は加速電圧によって変化します。
波長は下記の式で求められ、加速電圧が高いほど波長が短くなります。

加速電圧によって変化する電子ビームの波長

$$\lambda = \left(\frac{1.5}{V} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\lambda : \text{波長 (nm)}、V : \text{加速電圧})$$



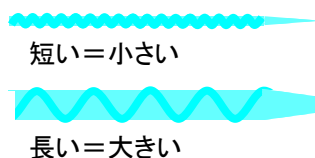
電子ビームをどれくらい小さなスポット径に絞れるか(細く絞れるか)には、波長が影響します。
波長が短いほど、電子ビームを小さなスポット径に絞る(細く絞る)ことができます。
波長とスポット径の関係は下記の式で表されます。

波長によって変化するスポット径

$$W = \frac{4\lambda d}{\pi w_0} \quad (W = \text{スポット径}、\lambda = \text{波長}、d = \text{レンズの焦点距離}、\pi = \text{円周率}、w_0 = \text{レンズに入射するビーム径})$$

波長(λ)

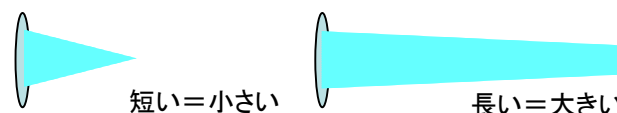
・短い方がスポット径が小さくなる



(参考)スポット径に影響を与える他の要因

焦点距離(d)

・短い方がスポット径が小さくなる



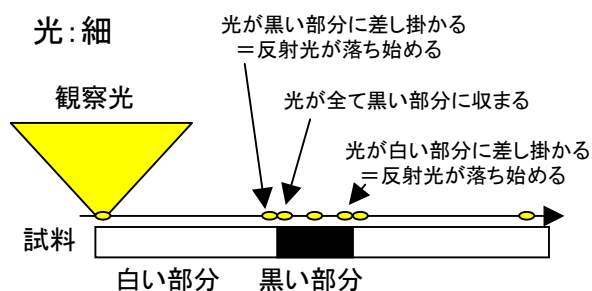
レンズに入射するビーム径(w_0)

・太い方がスポット径が小さくなる



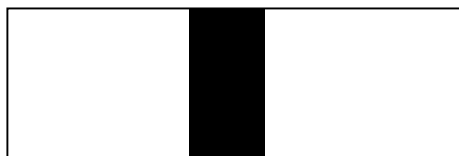
I -viii. スポット径と観察像

あらゆる顕微鏡において、スポット径よりも小さな構造は観察することができません。
下図では、説明を簡単にするために、太さの異なる光で白地に黒縞の試料を走査した場合の反射光量変化を例にしています。



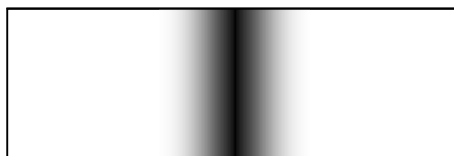
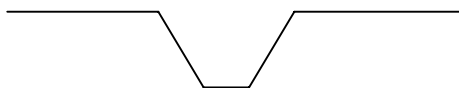
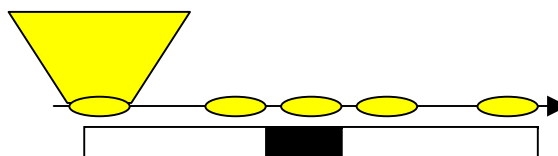
反射光量

観察される像



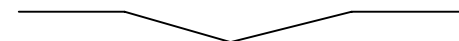
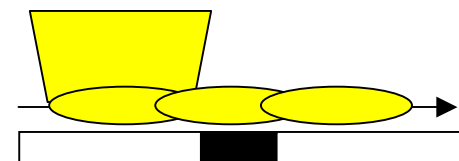
黒縞に対して充分細い光を使用すると
その存在を鮮明に観察することができます。

光：中



黒縞と同じくらいの光を使用すると
周辺部はぼけますが、存在は判ります。

光：太



黒縞よりも太い光を使用すると
シミ状になり縞は確認できません。

I-ix. 加速電圧の選び方

加速電圧を高くすると、1次電子の飛程が長くなり、2次電子の発生量は飛程が広がる範囲の形状の影響を受けます。これにより飛程が広がる範囲よりも小さい構造がわかりにくくなります。一方で、加速電圧を高くすると電子ビームのスポット径が小さくなり、より細かい構造まで観察できるようになります。

一見、矛盾していますが、

- ・一体構造の試料表面の微細な形状を観察したい時は低加速電圧
- ・分離構造の試料輪郭をシャープに観察したいときは高加速電圧 と使い分けると良いでしょう。

一体構造の試料表面

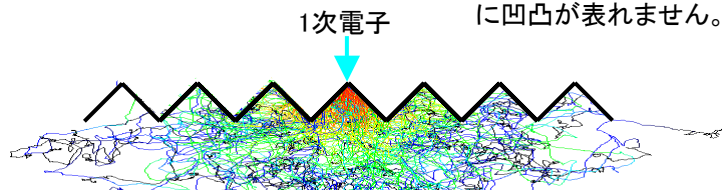
○ 低加速電圧

飛程が短いため、凹凸の形状を観察できます。



× 高加速電圧

飛程が長いため、観察像に凹凸が表れません。

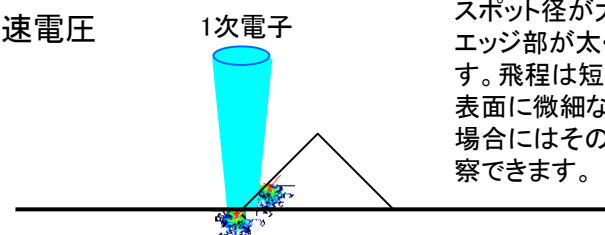


一体構造では、飛程は試料全体に広がります。

分離構造の試料表面

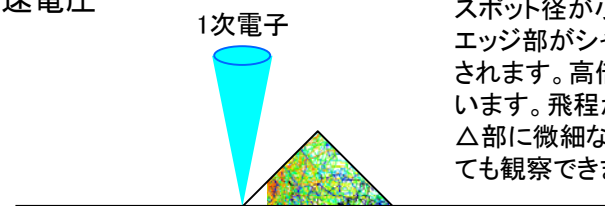
△ 低加速電圧

スポット径が大きいため、エッジ部が太く観察されます。飛程は短いため、△部表面に微細な凹凸がある場合にはその凹凸まで観察できます。



△ 高加速電圧

スポット径が小さいため、エッジ部がシャープに観察されます。高倍率に適しています。飛程が長いので、△部に微細な凹凸があっても観察できません。



分離構造では、飛程は△部内に留まります。

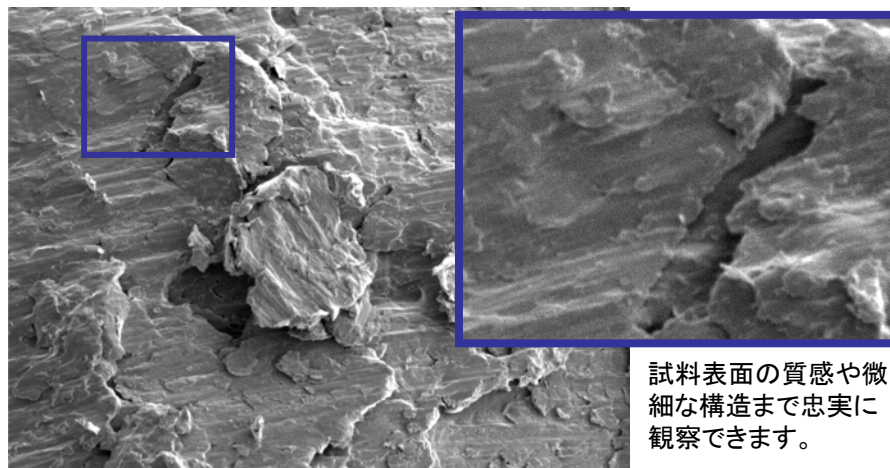
3Dリアルサーフェスビュー顕微鏡 VEシリーズには、加速電圧選びを簡単にするeプレビュー機能が搭載されており、最適な加速電圧が誰にでも簡単に選べます。

3Dリアルサーフェスビュー顕微鏡

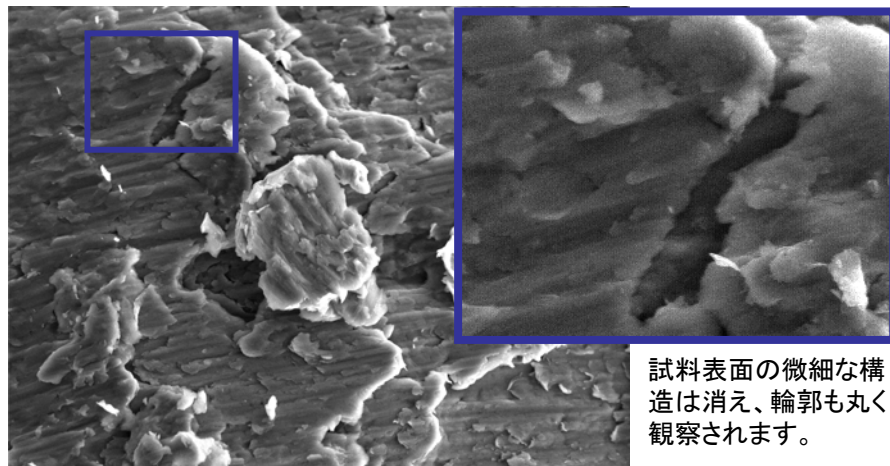
I - x . 加速電圧で変わる見え方

一体構造

○ 低加速電圧観察

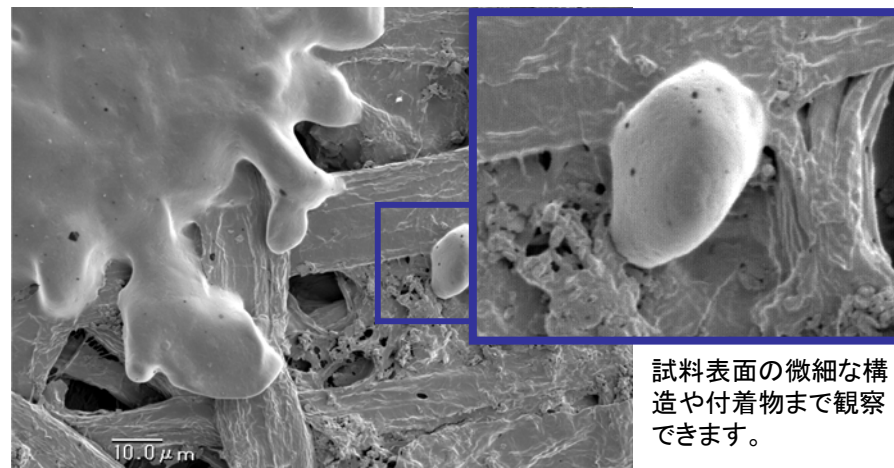


× 高加速電圧観察

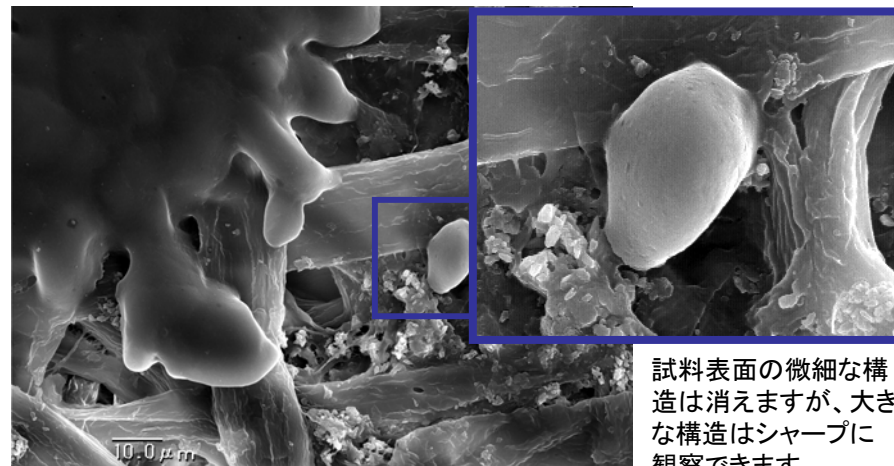


分離構造

△ 低加速電圧観察



△ 高加速電圧観察



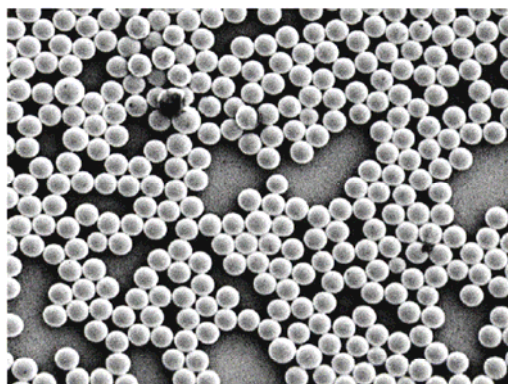
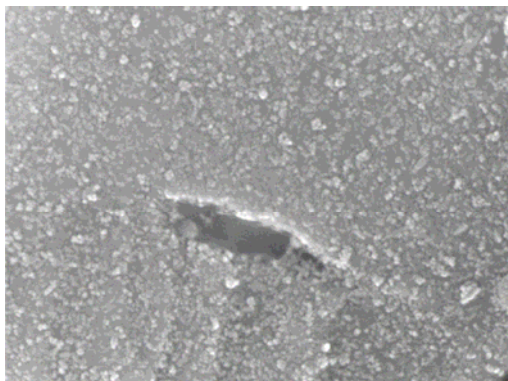
Ⅱ. スポット径を変えてみよう

SEMの調整項目に「スポット径」があります。

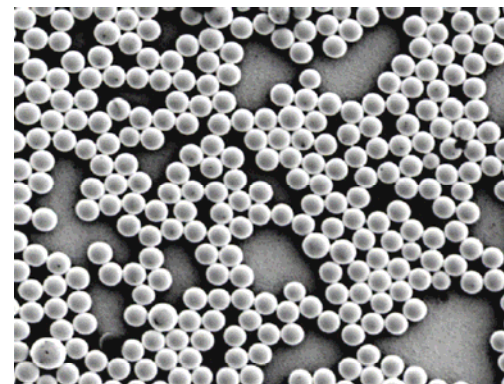
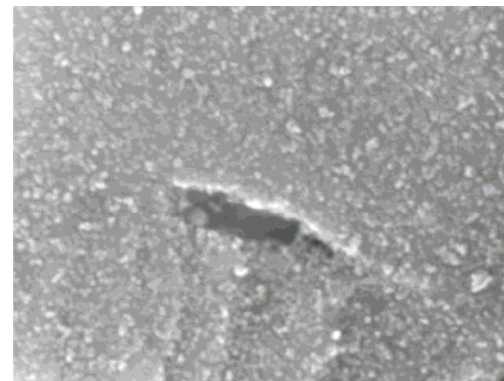
「スポット径」は、試料に照射する電子ビームの太さです。

「スポット径」を変えると、同じ試料でも見え方が大きく変化します。

スポット径：小



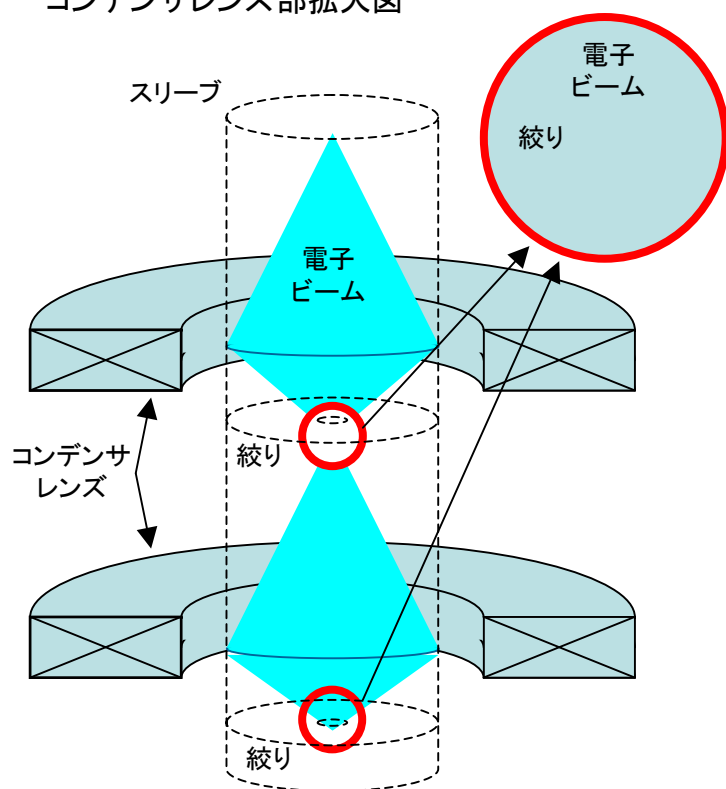
スポット径：大



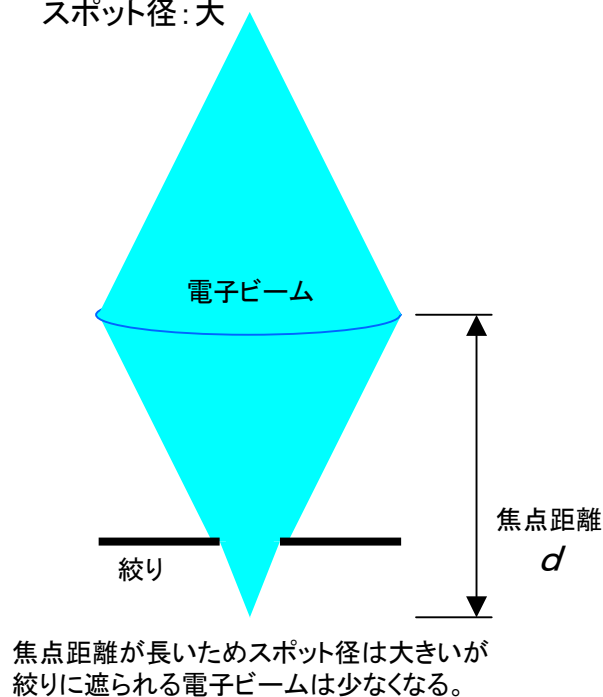
Ⅱ－ⅰ．スポット径調整の仕組み

SEMのスポット径調整機能は、レンズの収束条件を変える仕組みになっています。
「[加速電圧とスポット径](#)」の頁でご紹介したように、スポット径は焦点距離に影響されます。
SEM内部には多段式のレンズがあり、このレンズの焦点距離を変えることでスポット径を調整しています。ここで注意が必要な点は、SEM内部のレンズには絞りがセットされており、焦点距離を短く(スポット径を小さく)調整すると、絞りに遮られる電子ビームが多くなる点です。

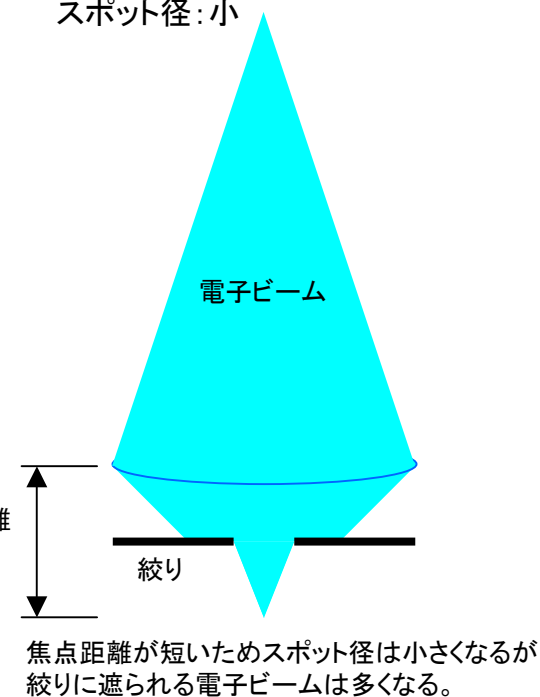
コンデンサレンズ部拡大図



スポット径：大



スポット径：小



Ⅱ－ⅱ．スポット径の選び方

スポット径を小さくすると、「[スポット径と観察像](#)」の頁でご紹介したように、より微細な構造まで鮮明に観察できます。一方で、SEMのスポット径の調整機能を使ってスポット径を小さくした場合には、試料に照射される電子が少なくなり、観察像にノイズが目立ち始めます。

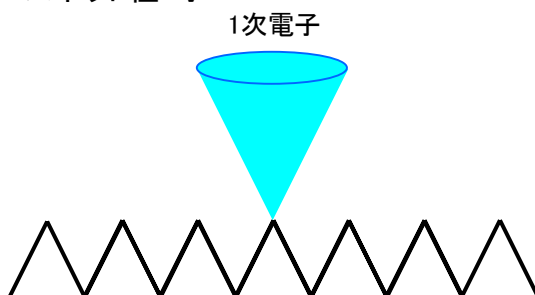
また2次電子は「[2次電子の発生量](#)」でご紹介したとおり、傾斜部やエッジ部で発生量が多くなり、平坦部では少なくなります。

スポット径の選び方としては、

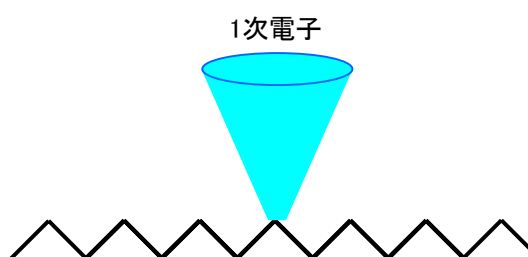
- ・基本は、スポット径はできるだけ小さく。
- ・ピント等の調整のできる範囲で設定する(観察像にノイズが増えると調整が難しくなる)。
- ・平坦な試料や信号量が多く必要な元素分析では、スポット径を大きめに設定する。

と考えると良いでしょう。

凹凸が大きい(多い)試料
スポット径: 小

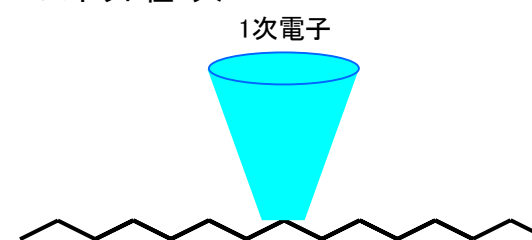


試料の構造の角度が急になるほど2次電子発生量は増加しますので、スポット径を小さくしても悪い影響は目立ちません。



試料の構造に応じて、ピント等の調整のしやすさも考慮に入れて、スポット径を決めます。

凹凸が小さい(少ない)試料
スポット径: 大

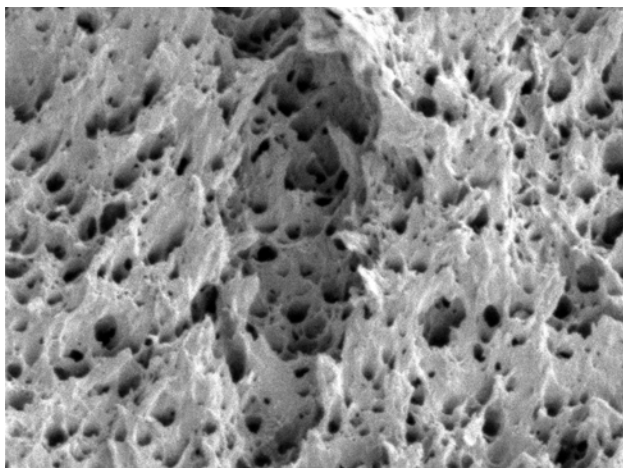


凹凸の少ない試料や、信号量が多く必要な元素分析では、スポット径を大きめに設定します。

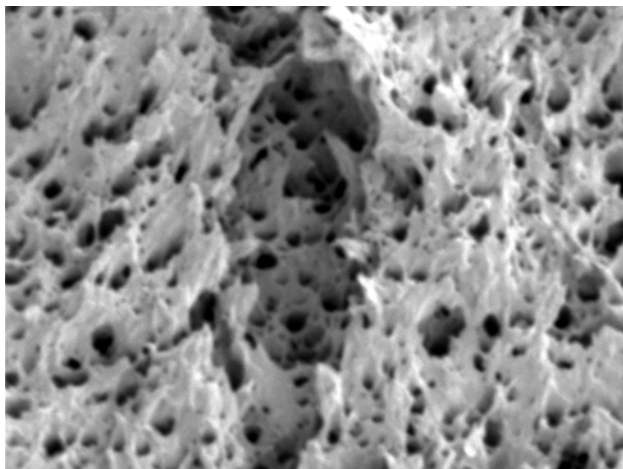
Ⅱ－Ⅲ．スポット径で変わる見え方

凹凸の大きい(多い)試料

○ スポット径:小

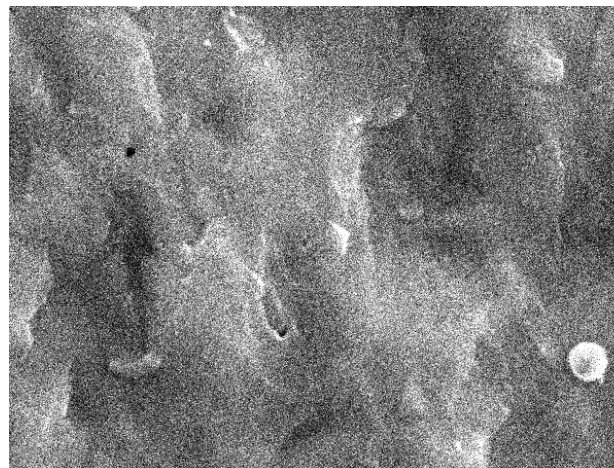


× スポット径:大

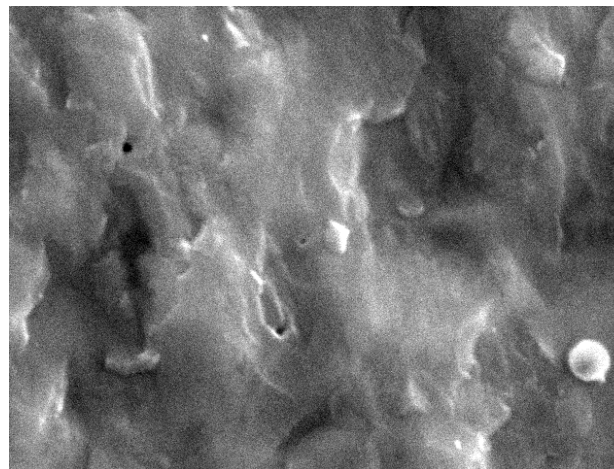


凹凸の小さい(少ない)試料

× スポット径:小



○ スポット径:大



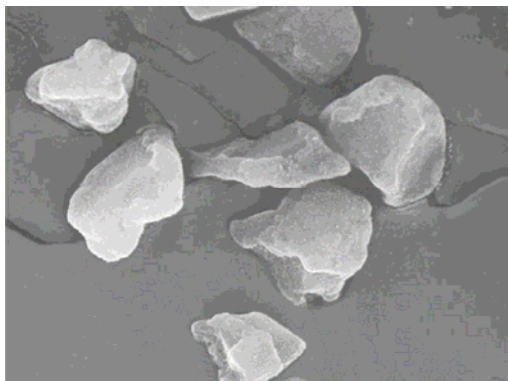
凹凸の小さい(少ない)試料では、2次電子の発生量が少ないため、スポット径を小さくすると観察像にノイズが目立ってしまいます。このような試料では、スポット径を大きくした方がピント等の調整も簡単になり、観察像も見やすくなります。

凹凸の大きい(多い)試料では、2次電子の発生量が多いため、スポット径を小さくしても画質の劣化は少なくなります。このような試料では、スポット径を小さくすることにより、分解能の向上という良い効果のみを手に入れることができます。

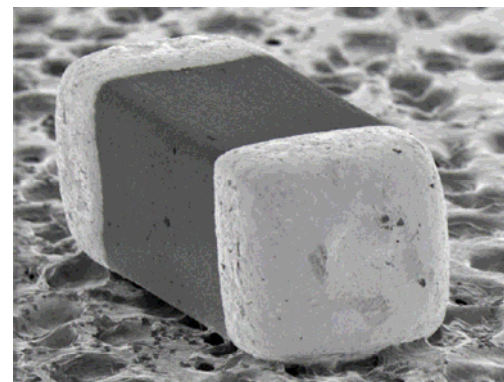
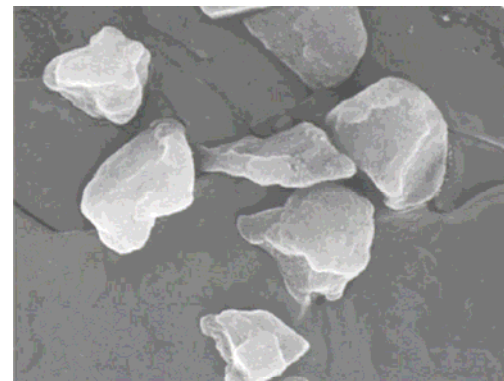
Ⅲ. 観察距離を変えてみよう

SEMでは、「観察距離」を自由に変えて観察できます。
観察距離は対物レンズ(≒SEMの試料室天井)と試料の距離です。
「観察距離」を変えると、SEMの特性が大きく変わります。

観察距離:短

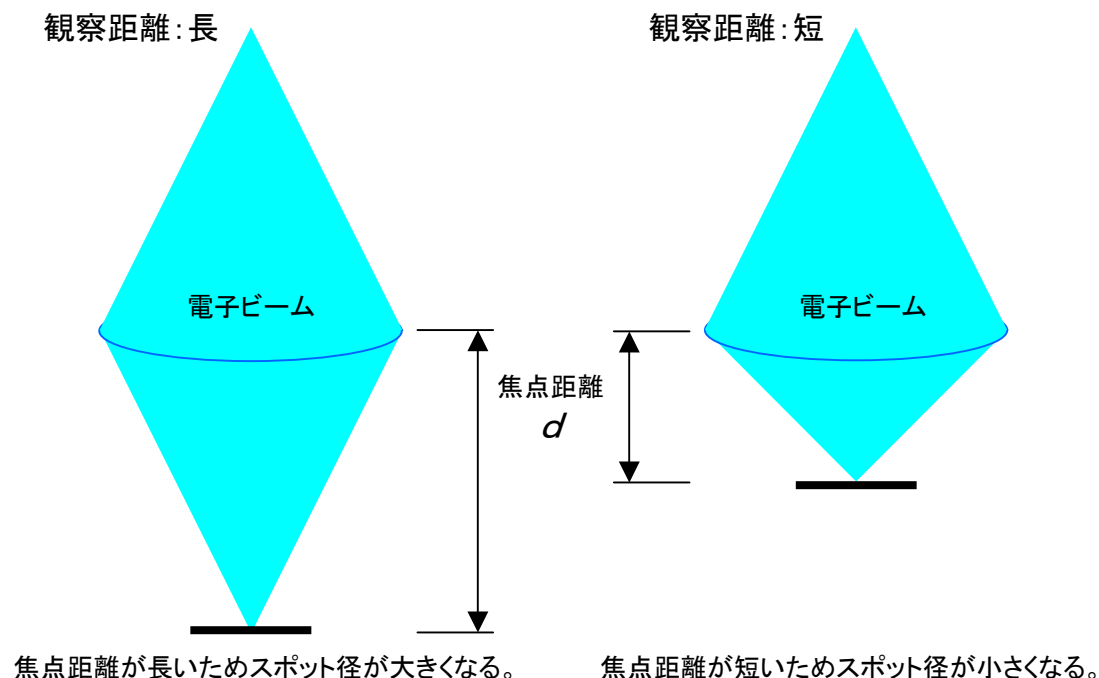
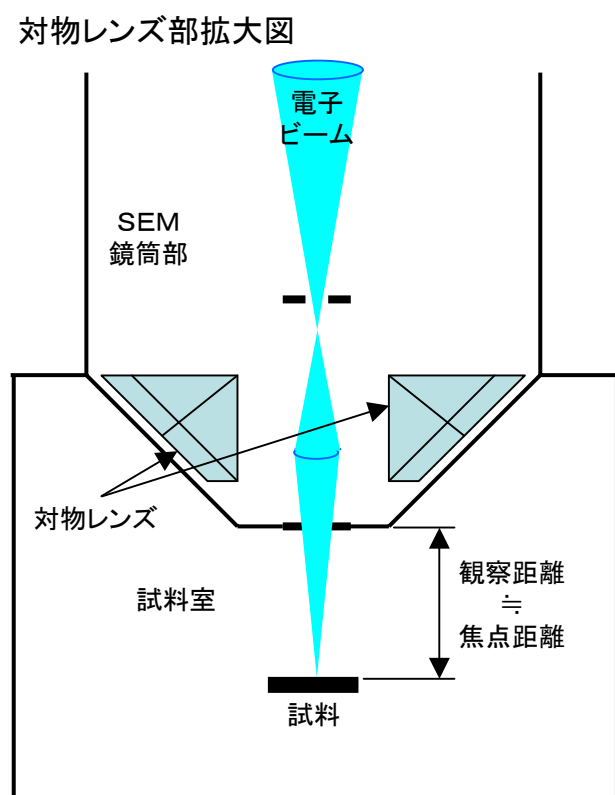


観察距離:長



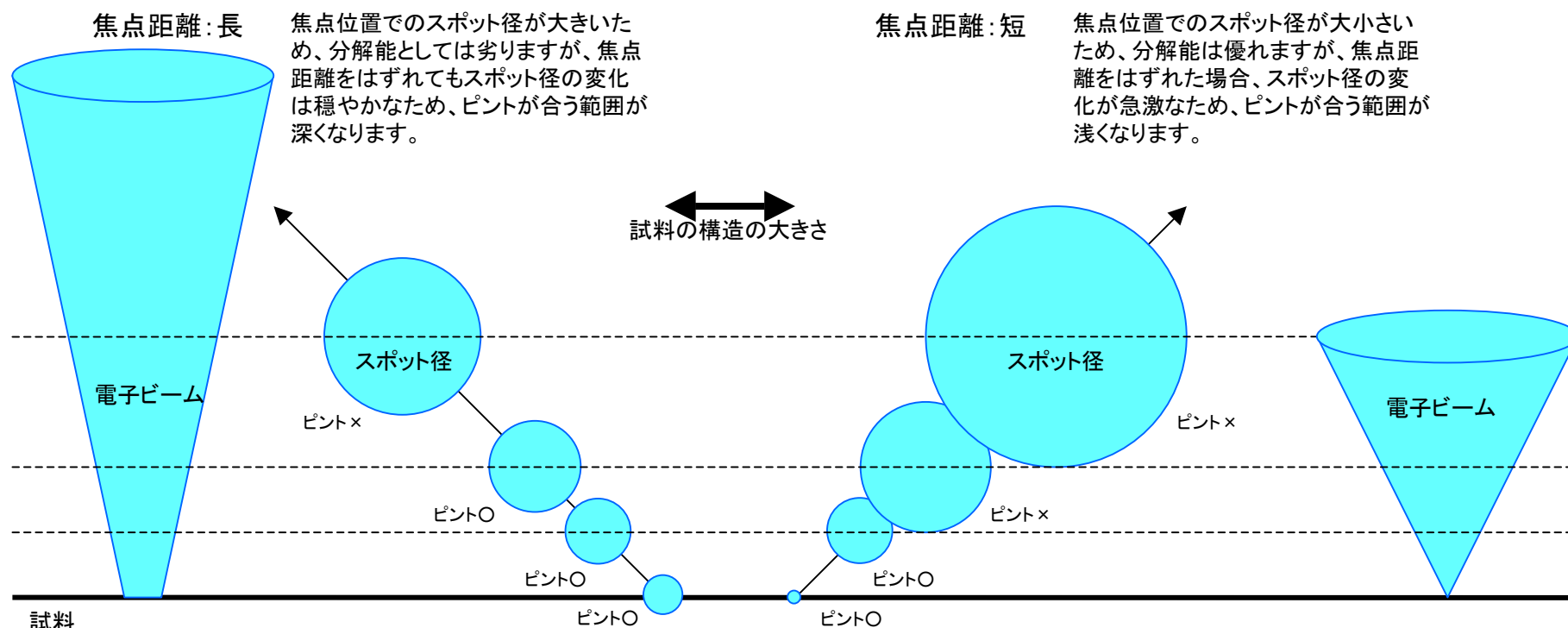
Ⅲ-ⅰ．観察距離とスポット径

SEMでは、対物レンズの収束条件を変更して観察距離（焦点距離）を調整しています。
「[加速電圧とスポット径](#)」の頁でご紹介しましたが、スポット径は焦点距離に影響されます。
対物レンズの焦点距離調整では、短くしても電子ビームが絞りに遮られることはありません。



Ⅲ－ⅱ．観察距離と被写界深度

被写界深度とは、ピントの合う深さ(奥行き)のことを表します。「ピントが合う」状態とは、「[スポット径と観察像](#)」でご紹介したとおり、観察する構造に対してスポット径が充分小さい状態です。電子ビームは、焦点距離でスポット径が最小となる鼓型の形状をしており、焦点距離から離れるに従いスポット径は大きくなります。スポット径が、焦点距離から離れた場所でも、構造に対して充分小さい状態を維持していれば、被写界深度が深い状態になります。観察距離と被写界深度は密接に関わっており、観察距離が長ければ被写界深度は深くなり、逆に短ければ浅くなります。



Ⅲ-Ⅲ. 観察距離の選び方

観察距離を短くすると、焦点位置でのスポット径は小さくなり、「[スポット径と観察像](#)」でご紹介したように、より微細な構造まで鮮明に観察できます。一方で、焦点位置をはずれた場合にスポット径が急激に大きくなるため、被写界深度は浅くなります。

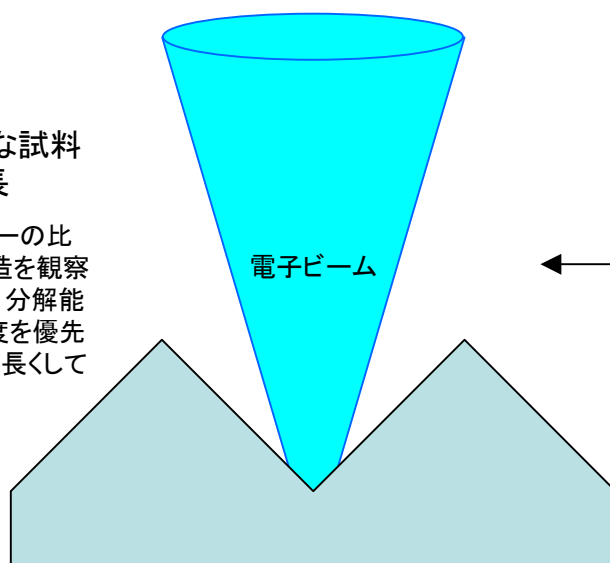
また観察距離を短くすることでスポット径を小さくした場合は、2次電子の発生量が少なくなることはありません。

観察距離の選び方としては、

- ・基本は観察距離を10mm弱の短めにして分解能を優先する。
- ・観察倍率が2000倍以下で試料の凹凸が50μm以上ある場合には観察距離を長めにする。
と考えると良いでしょう。

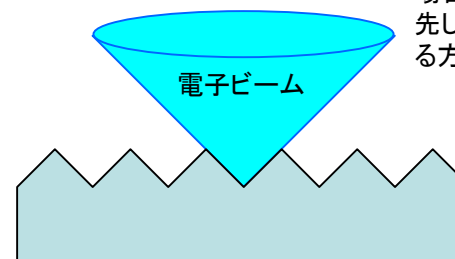
凹凸の大きな試料
観察距離：長

ミクロンオーダーの比較的大きな構造を観察する場合には、分解能より被写界深度を優先し、観察距離を長くしても良いでしょう。



凹凸の微細な試料
観察距離：短

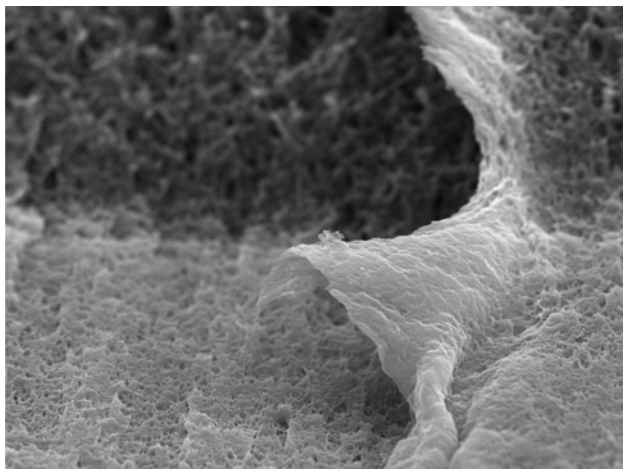
ミクロン以下の比較的微細な構造を観察する場合には、分解能を優先し、観察距離を短くする方が良いでしょう。



Ⅲ-iv. 観察距離で変わる見え方

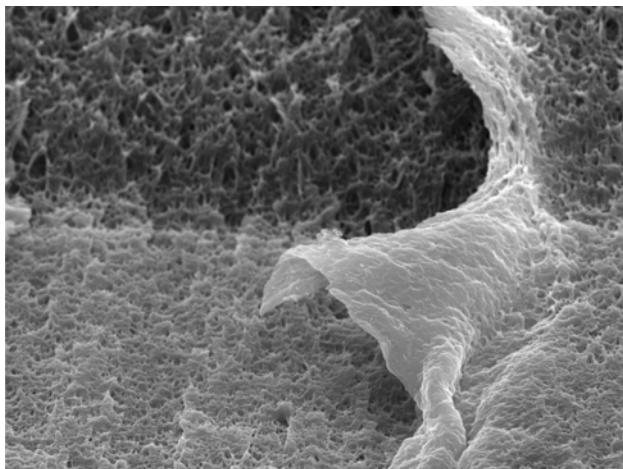
構造の大きい試料

× 観察距離:短



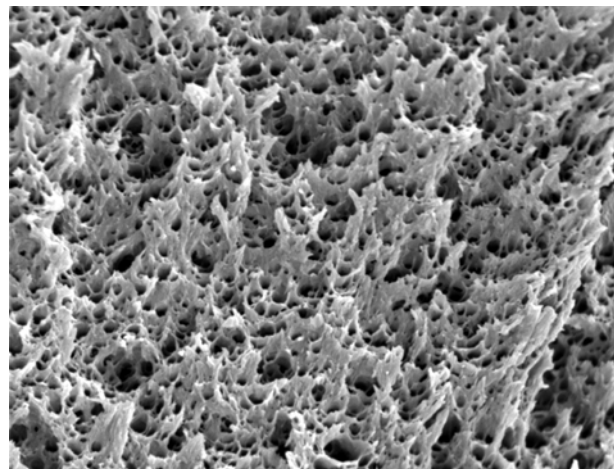
構造の大きい試料を観察する場合には、観察距離を長くしても、スポット径が大きくなることによる分解能低下の悪影響が目立ちません。観察距離が長くなることで被写界深度は深くなりますので、試料全体にピントのあった観察像を得られます。逆に観察距離を短くしすぎると、観察像の一部がピンぼけになることがあります。

○ 観察距離:長



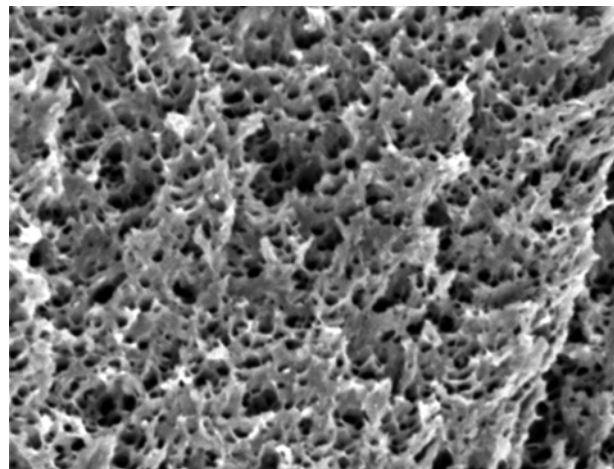
構造の小さい試料

○ 観察距離:短



構造の小さい試料を観察する場合には、観察距離を長くすることによる分解能低下の影響が顕著になります。構造の小さい試料を観察するときには観察距離に注意が必要です。

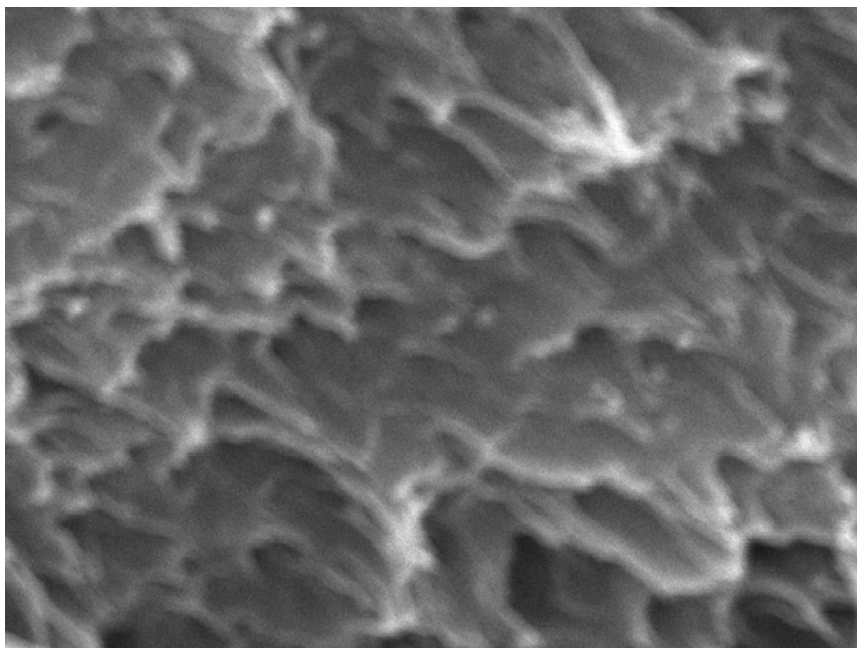
× 観察距離:長



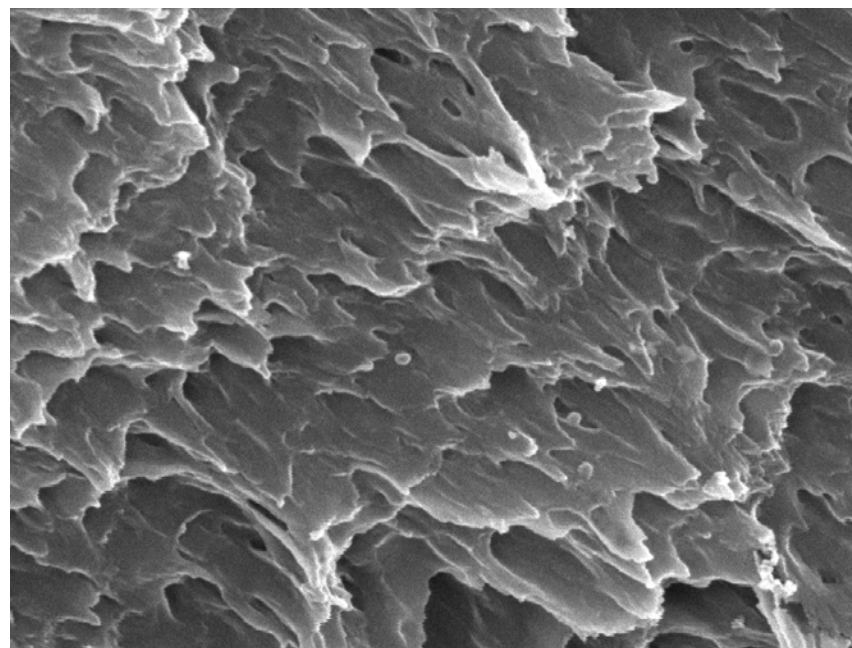
IV. 非点収差調整をマスターしよう

SEMには、光学顕微鏡にはない「非点収差(スティグマ)」という調整があります。非点収差調整は、電子ビームの断面形状を真円にする調整です。電子ビームを真円に調整することでスポット径は小さくなり、より微細な構造まで観察できます。

非点収差調整前



非点収差調整後

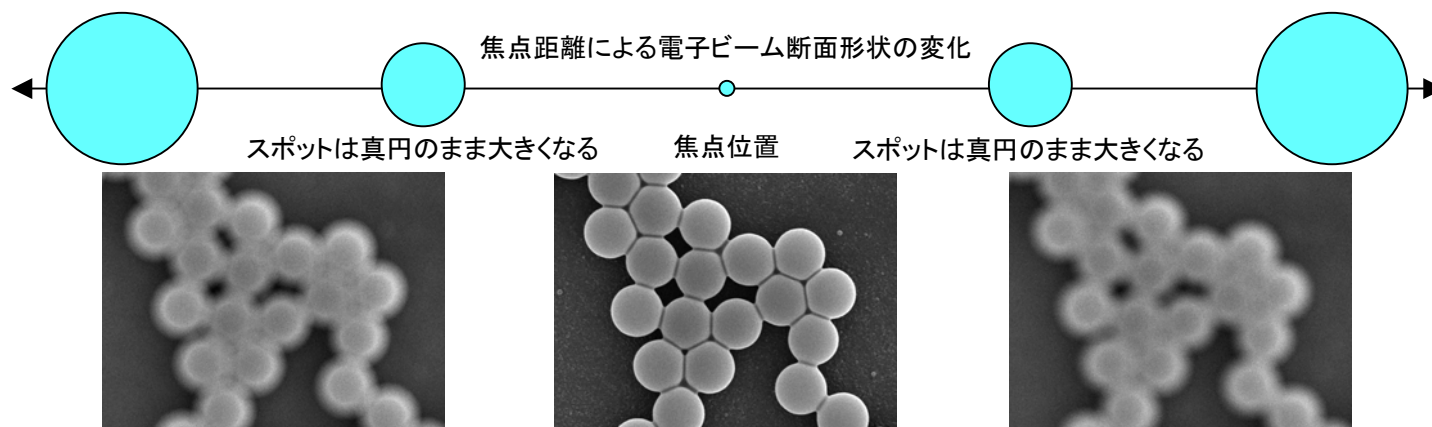


IV-i. 非点収差とは？

非点収差は、光源の真円度やビーム円周方向におけるビーム絞り角のバラツキから生じます。光源が歪んでいたたり、絞り角のバラツキがあると、円周方向でビームが最も細くなる距離が異なるため、小さなスポットが得られません。これにより分解能が低下します。

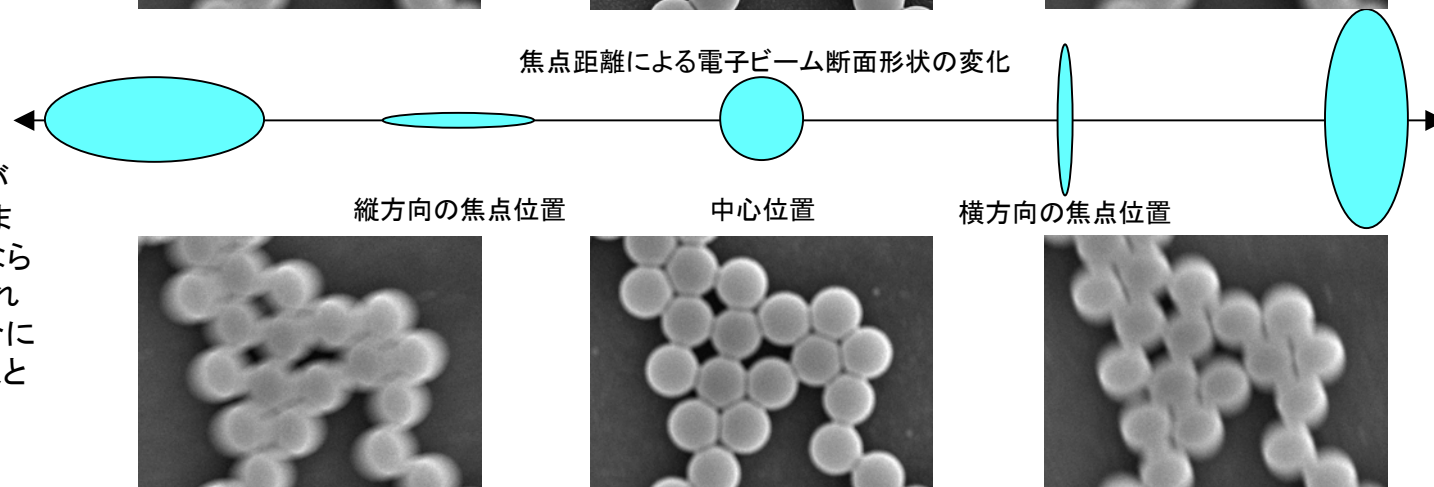
非点収差がない場合

ビーム円周方向から均等にビームが絞られるため焦点位置で小さなスポット径となります。このため焦点位置ではシャープな観察像が得られます。焦点位置からはずれた場合には全方向均等にぼけた像となります。



非点収差がある場合

ビームの円周方向により焦点位置が異なるため、ビームは楕円形となります。焦点位置でのスポットも最小とならないため、シャープな観察像は得られません。焦点位置からはずれた場合にはスポット径の長手方向に流れた像となります。

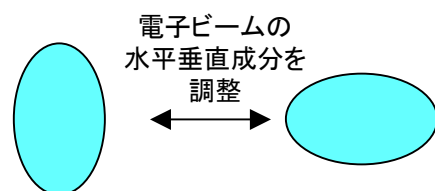


IV-ii. 非点収差の調整手順

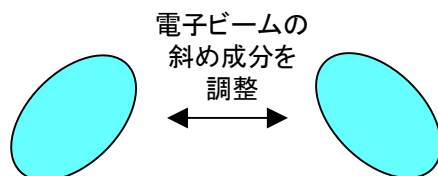
2つの非点調整

非点調整には、観察画面の水平垂直方向の成分を調整する「X」と斜め方向の成分を調整する「Y」の2つがあり、それぞれを個別に調整します。

非点X調整



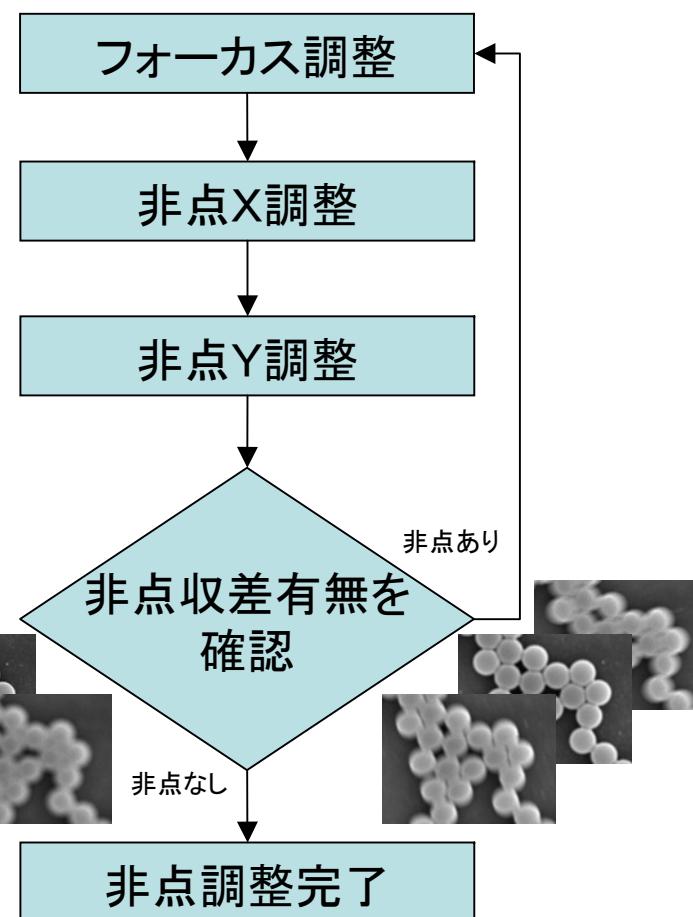
非点Y調整



非点調整手順

非点収差の有無は、フォーカスをずらすことで、試料の構造が均等にボケるか、特定の方向に流れたような像になるかを確認します。非点収差は1回では調整きれないことが多く、この手順を数回繰り返します。

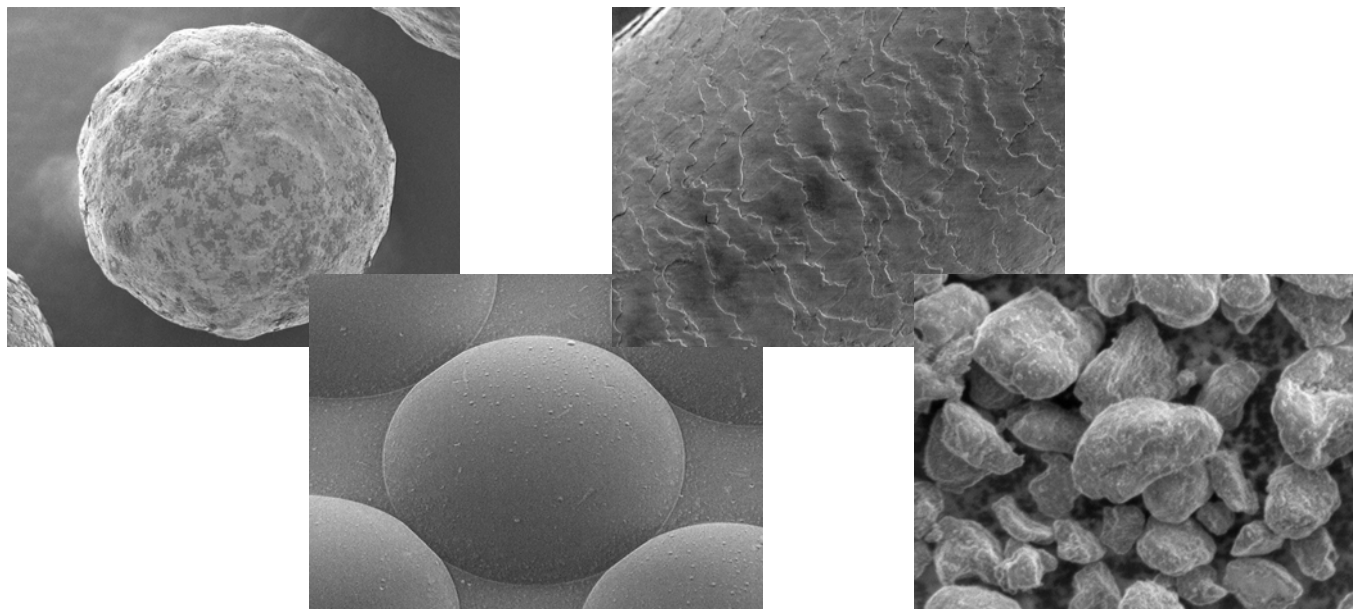
非点収差や調整手順を紹介したムービーを収録しています。



3Dリアルサーフェスビュー顕微鏡 VEシリーズには、自動非点メモリ機能が搭載されており非点調整が必要となる頻度を抑えることで、誰にでも簡単なSEM観察を実現しています。

V. 非蒸着で観察してみよう

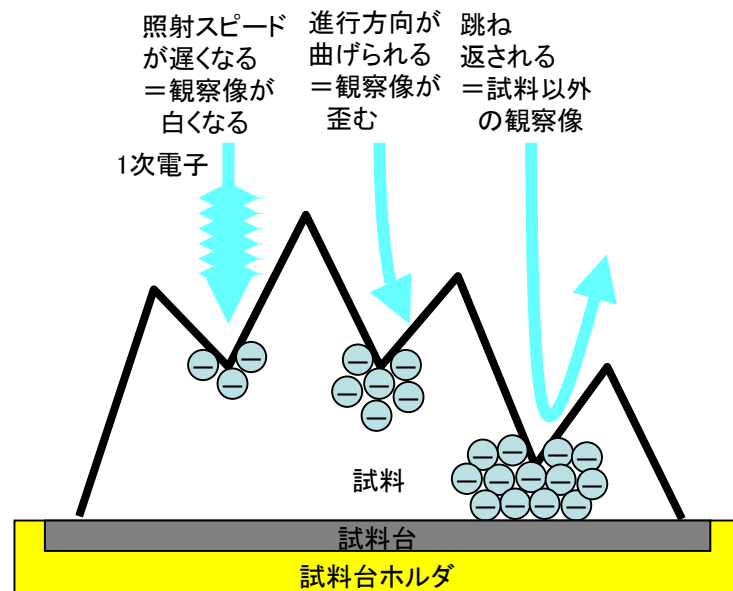
SEMで非導電性試料を観察する場合、導電膜をコートして観察することが一般的です。非蒸着で観察する方法としては、低真空観察が広く紹介されていますが、試料の微細な構造が観察できない、試料によってはダメージを与えるといったデメリットがありました。SEMによる非蒸着観察には、この低真空観察以外に微細な構造が観察でき、ダメージも与えにくい低加速電圧観察があります。



V-i . 蒸着する理由

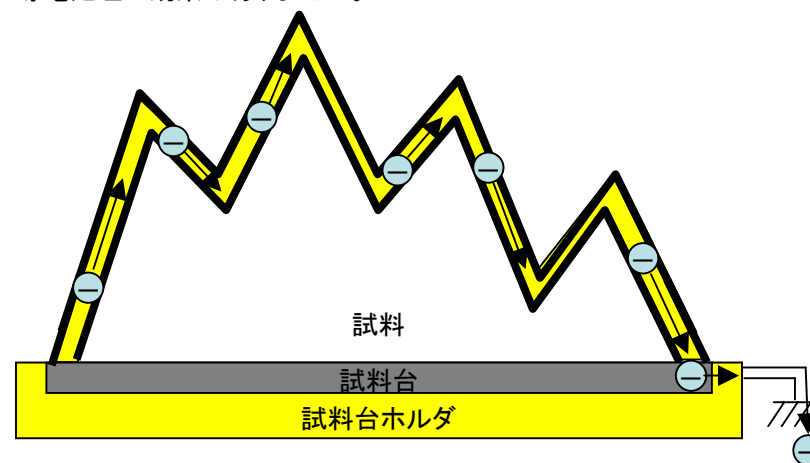
試料に導電性がない場合、試料に照射された1次電子が試料に溜まります。これを帯電やチャージアップと呼びますが、帯電が起こると、その後の1次電子の照射に、1. 照射スピードを遅くする、2. 進行方向を曲げる、3. 跳ね返す、といった影響を与え、正確な観察を阻害します。これを避けるため、試料に導電膜をコートし、照射された電子を逃がしています。また導電膜には、2次電子発生効率を改善し、観察像を良くする狙いもあります。

試料の帯電と1次電子



試料の導電処理

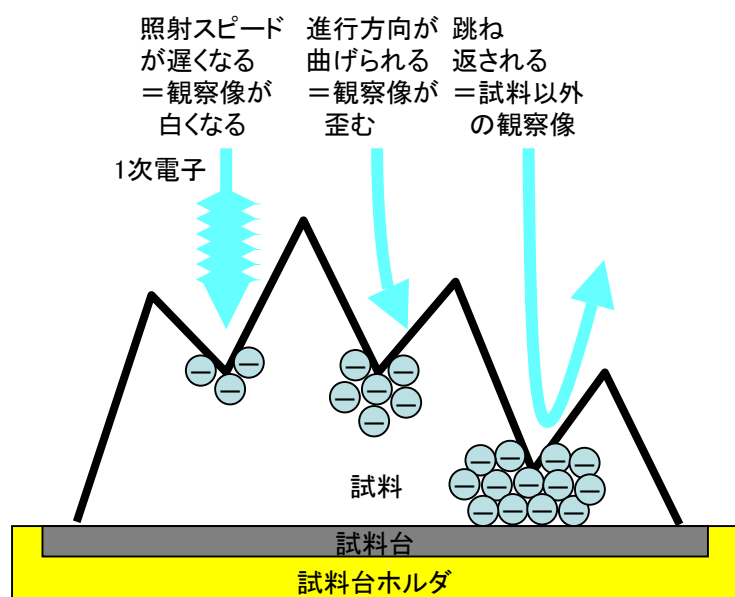
試料に照射された1次電子は、導電膜を通してアースに流れるため試料に溜まりません。
導電膜と試料台、試料台と試料台ホルダ、試料ホルダとSEM筐体と導通がとれていなければ、1次電子はアースに流ることができないため、導電処理の効果はありません。



V-ii. 帯電(チャージアップ)と観察像

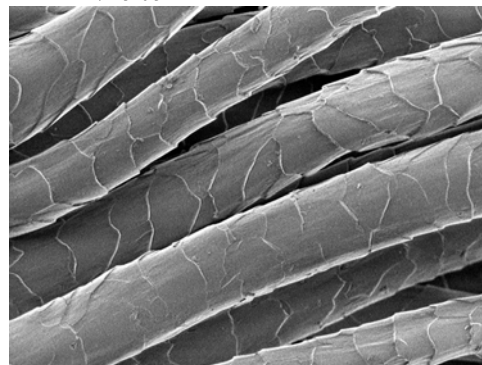
帯電が及ぼす観察像への影響としては、観察像の一部が白くなる現象を最もよく見かけますが、それ以外にも像が歪む、全く異なるものが観察されるといった現象を生じます。

帯電が及ぼす観察像への影響

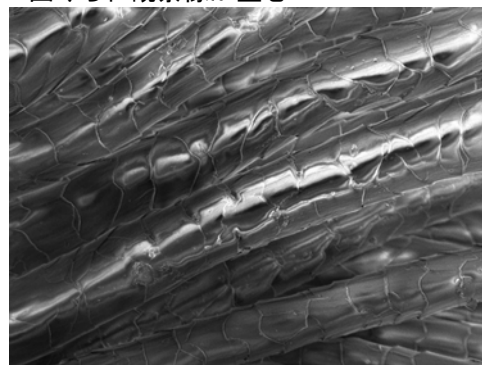


※「[非蒸着観察2-低加速電圧観察](#)」でご紹介していますが、2次電子は加速電圧が低い＝照射スピードが遅いほど多く発生します。これにより試料に帯電した電子で1次電子が減速される帯電部位では、2次電子が多く発生し明るく(白く)観察されます。

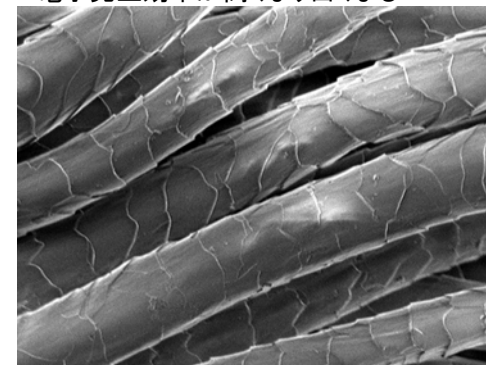
正常な観察像



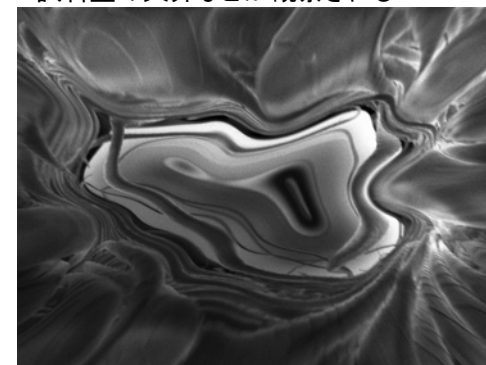
帯電した部位で1次電子の進行方向が曲げられ観察像が歪む



帯電した部位で1次電子が減速され2次電子発生効率が高くなり白くなる



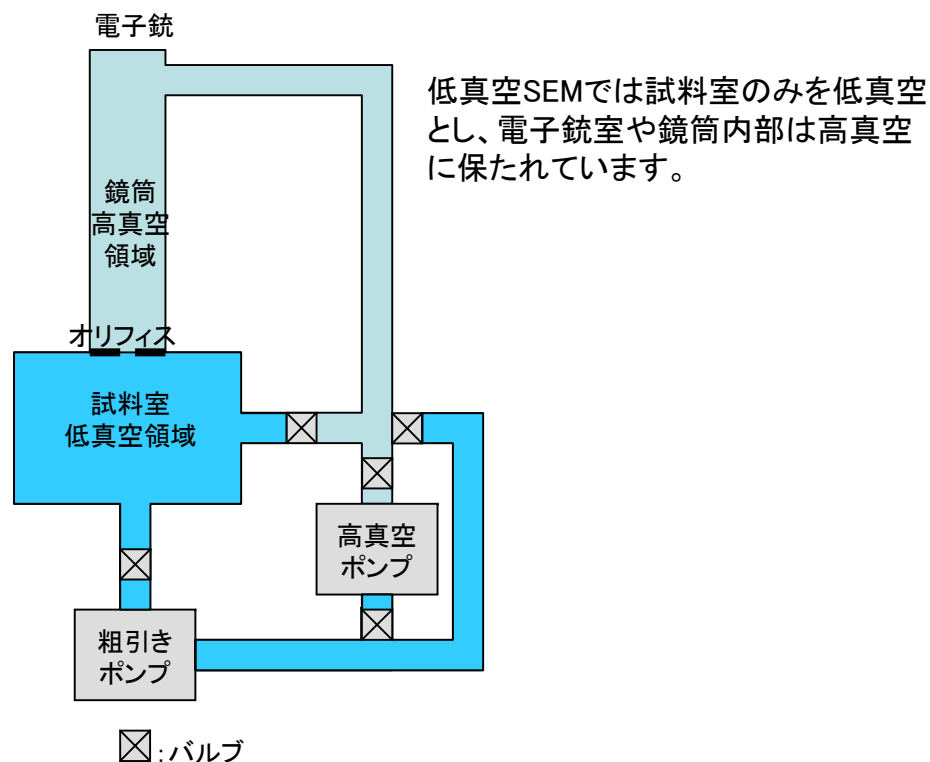
帯電した部位で1次電子が跳ね返され、試料室の天井などが観察される



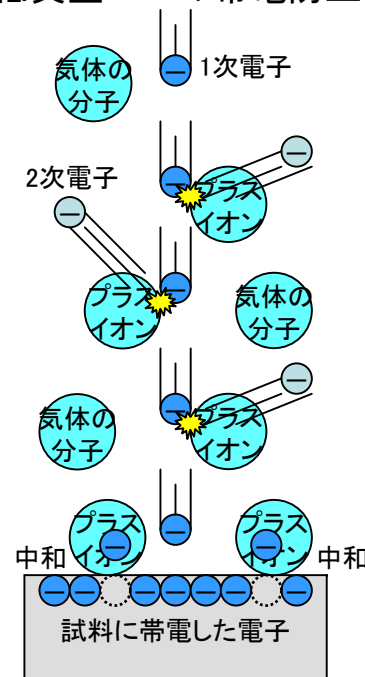
V-iii. 非蒸着観察1-低真空観察

非導電性試料の非蒸着観察では、低真空観察が一般的に知られています。低真空観察は試料室に気体をわずかに導入することから低真空と呼ばれています。試料室に導入された気体分子に1次電子が照射されることで、気体分子はプラスイオンとなります。プラスイオンが試料に帯電した電子を中和することで、帯電することなく観察が可能になっています。

排気系概略図



低真空SEMの帯電防止

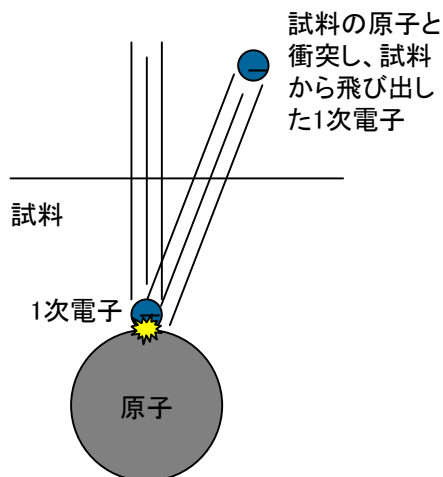


気体の分子は、1次電子との衝突で2次電子を放出しプラスイオンとなります。プラスイオンが試料に帯電した電子を中和することで試料の帯電を防止します。

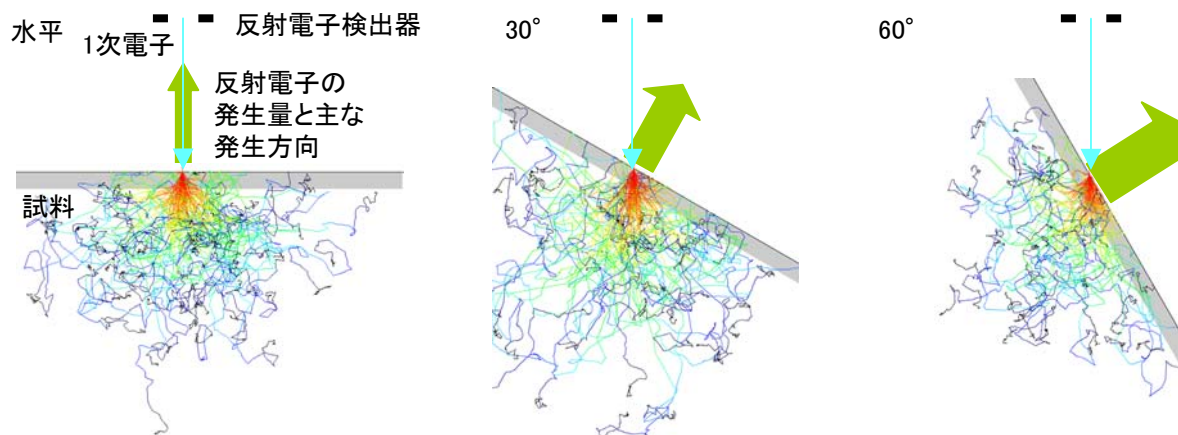
V-iv. 低真空観察での観察信号-反射電子

低真空観察では、試料室に気体があるため、エネルギーの小さい2次電子は検出器まで届かず、観察に利用できません。反射電子は「1次電子の振る舞い」でも簡単に紹介しましたが、1次電子が試料内部で反射し飛び出てきた電子で、そのエネルギーは加速電圧に依存します。低真空観察では、反射電子のエネルギーを大きくするため高加速電圧で1次電子を照射します。反射電子は、試料の真上に設置した専用の検出器で捉えて観察します。

反射電子



試料の傾きによる反射電子の発生量と主な発生方向

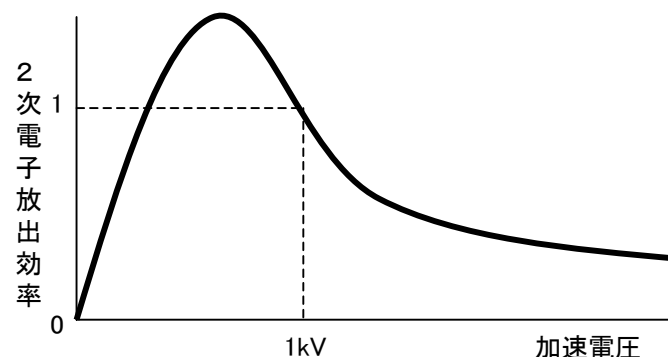


反射電子も2次電子と同様に試料の傾きが大きい方が発生量は多くなるものの、1次電子の光軸方向に設置された検出器の方向へ飛び出す反射電子は少なくなります。反射電子を利用した観察では、総発生量ではなく検出器の方向に発生する量で試料の表面形状を観察しますので、平面が明るく、斜面が暗く観察されます。

V-v. 非蒸着観察2-低加速電圧観察

非導電性試料の非蒸着観察として、主にFE-SEMで利用されているのが低加速電圧観察です。試料に低い加速電圧で1次電子を照射すると、照射した1次電子と同じ数だけ2次電子が放出されます。この加速電圧では、照射と放出のバランスが取れているため、帯電が起こりません。低真空観察に比べ、加速電圧が低く、また2次電子を利用するため、試料の微細な構造の観察が可能で、試料にダメージを与える可能性も小さくなります。

2次電子放出量と加速電圧の関係

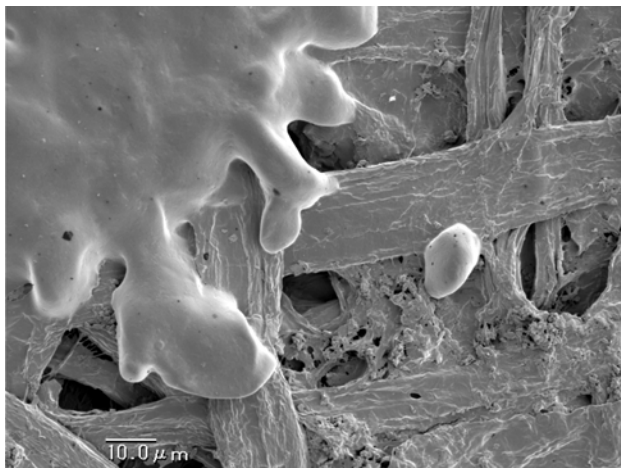


2次電子放出効率は、1次電子として照射された電子と2次電子として試料から放出される電子の比率です。
2次電子放出効率は、上のグラフのように加速電圧1kV以下で最も高くなり、その後、加速電圧が高くなるほど低くなります。放出効率1では、入る電子と出て行く電子の数が同じであるため、試料の電子は増えません。
2次電子放出効率が1となる加速電圧は、試料の材質、傾斜、表面粗さなどによって変化しますが、1kV近辺となります。
低加速電圧観察では、1kV～2kVの範囲で加速電圧を変えながら放出効率が1となる加速電圧を見つけて観察します。

3Dリアルサーフェスビュー顕微鏡 VEシリーズは、放出効率1の加速電圧を簡単に探せる「eプレビュー」機能を装備することで、低加速電圧観察を誰にでも簡単にしています。

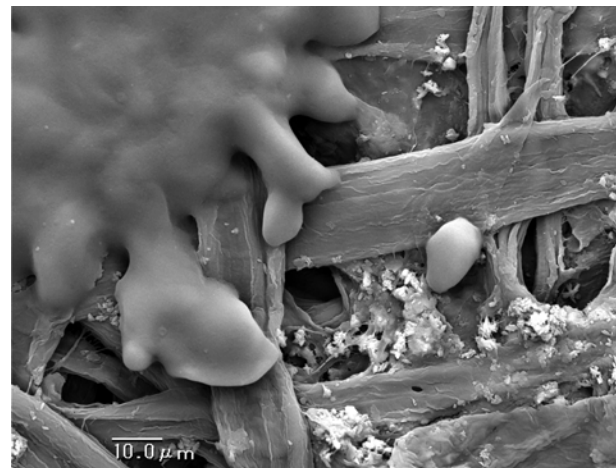
V-vi. 観察法で変わる見え方-1

低加速電圧観察

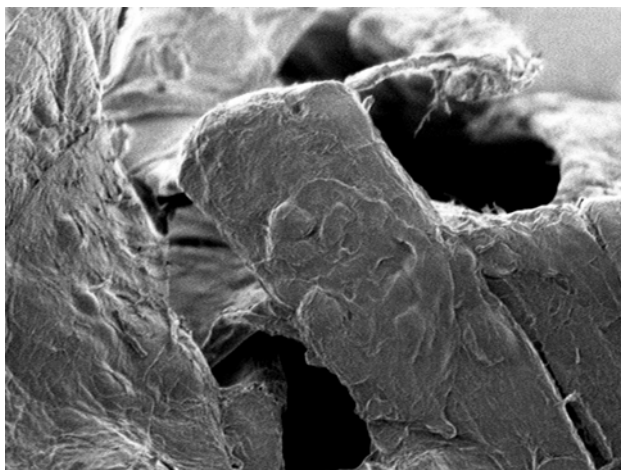


低加速電圧観察では、観察に2次電子を使用するため、平面が暗く、斜面が明るく観察されます。周囲から照明を当てたような無影像になります。

低真空観察



低真空観察では、観察に反射電子を使用するため、2次電子とは逆に、平面が明るく、斜面が暗く観察されます。光学顕微鏡の落射照明に似た陰影の像になります。



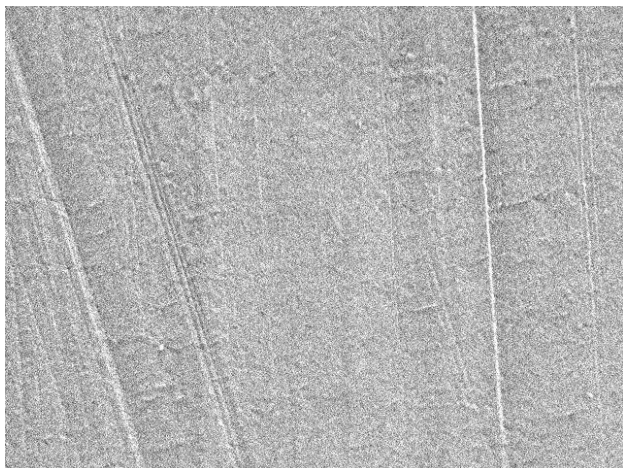
低加速電圧観察では、加速電圧が低いため、1次電子が試料内部で広がりにません。それにより試料の微細な構造も観察できます。



低真空観察では、加速電圧が高いため1次電子が試料内部で広がり、大きなスポットで観察したような滑らかな像になります。微細な構造は表れないので注意が必要です。

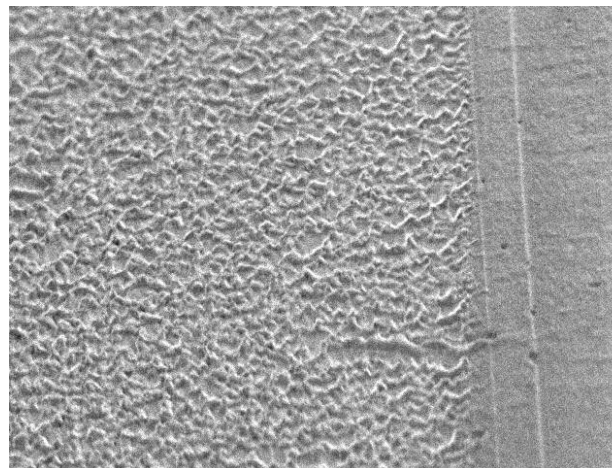
V-vii. 観察法で変わる見え方-2

低加速電圧観察

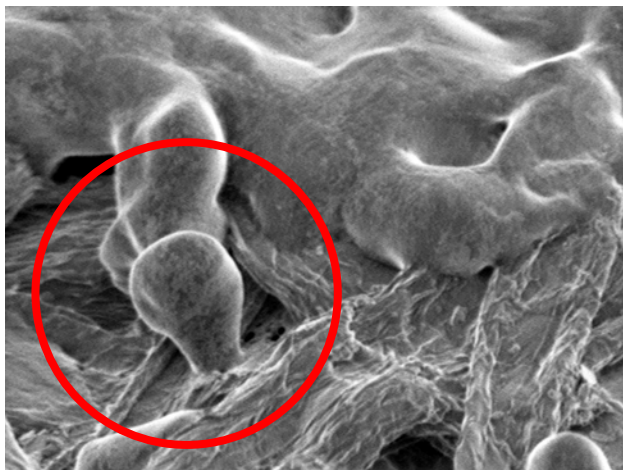


低加速電圧観察では、加速電圧が低いため、熱に弱い試料でも鮮明、正確に観察できる可能性が高くなります。

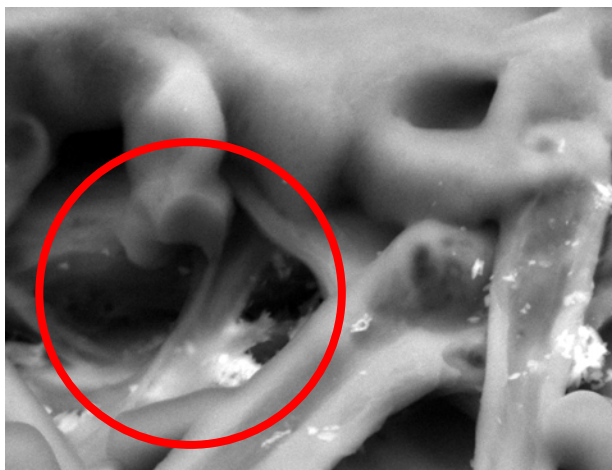
低真空観察



低真空観察では、加速電圧が高いため、熱に弱い試料にダメージを与え、正確に観察できません。試料が変質していないか確認するなど注意が必要です。



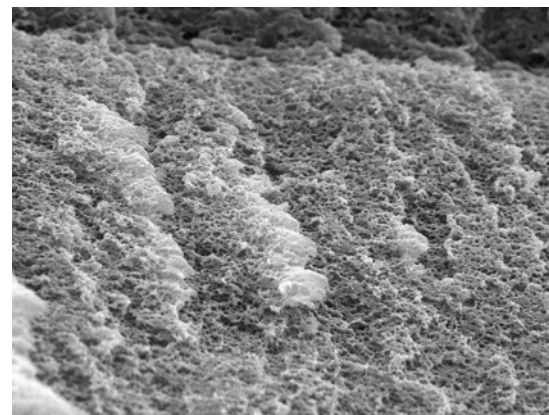
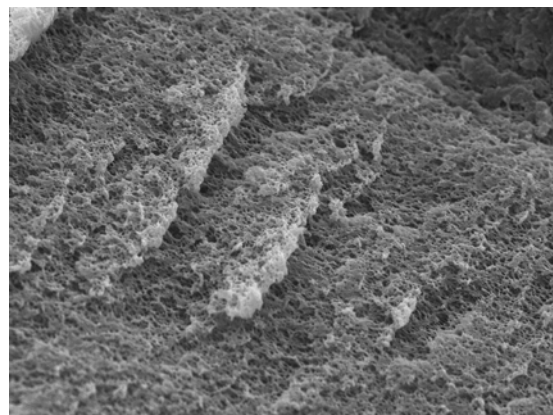
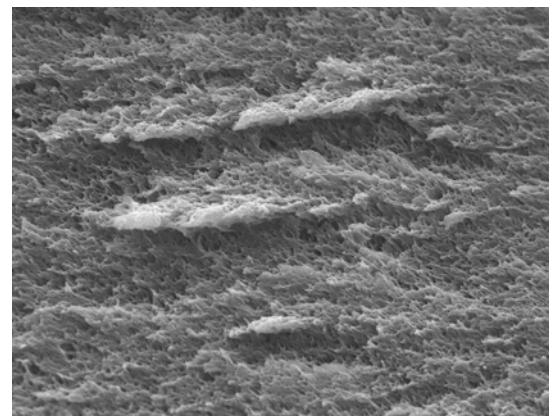
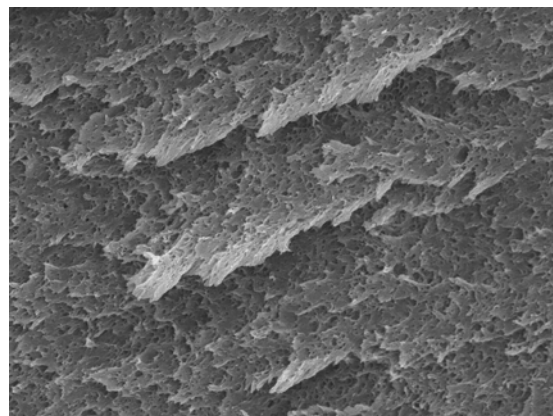
低加速電圧観察では、加速電圧が低いため、強度の弱い構造を持った試料でも、そのまま正確に観察できます。



低真空観察では、加速電圧が高いため、強度が充分強くない構造を持った試料では、その形状を変えてしまう恐れがあります。

VI. 試料の傾きを変えてみよう

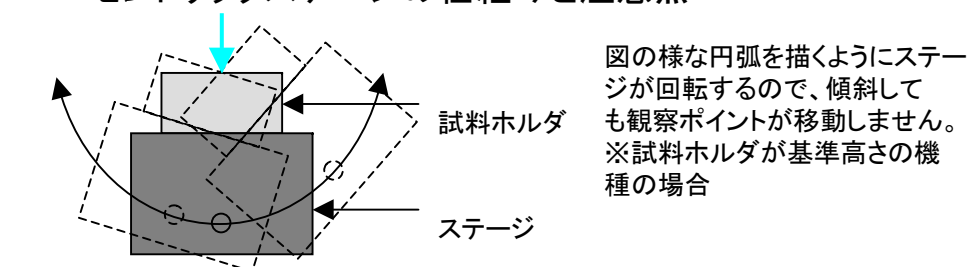
観察距離を長く取れるSEMは、試料を傾けていろいろな方向から観察できるのも大きな魅力です。また試料の傾斜には、いろいろな角度から観察する以外にも、観察像のノイズを減らしたり、低加速電圧観察時に帯電を起こりにくくしたりする効果もあります。



VI- i . 傾斜時の注意点-試料の高さと位置

ユーセントリックステージの仕組みを理解すれば、試料傾斜時の観察視野移動を最小限に抑えて、効率よく観察が可能です。ユーセントリックステージは、そもそも傾けても観察視野が移動しないステージですが、観察視野を移動させないためには一定の条件があります。また分解能を高めるためには、ステージに試料を置く位置にも注意が必要です。

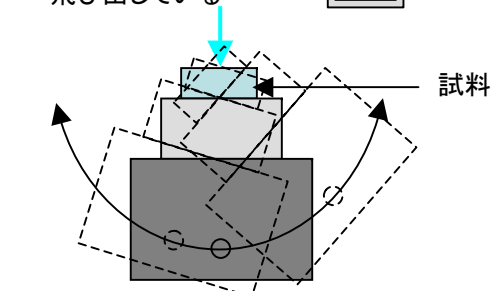
ユーセントリックステージの仕組みと注意点



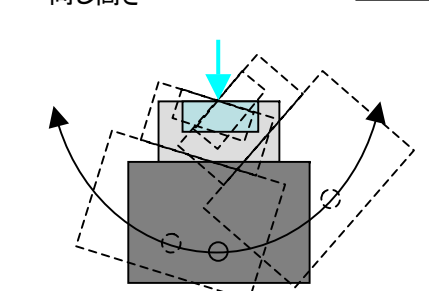
×: 試料ホルダから試料が飛び出している



○: 試料ホルダと試料表面が同じ高さ

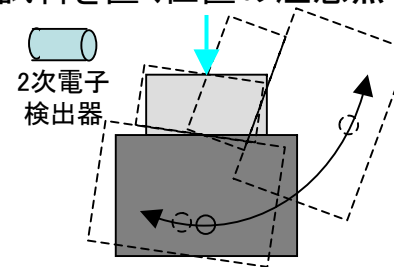


試料表面が基準高さより高くなるため、傾斜により観察ポイントが移動してしまいます。



試料表面が基準高さに調整されていれば、傾斜しても観察ポイントは移動しません。

試料を置く位置の注意点

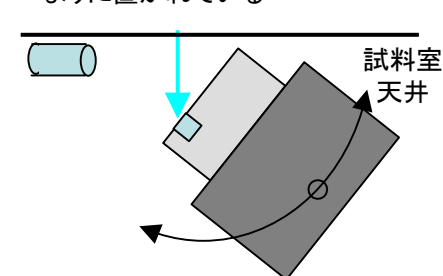


SEMの傾斜ステージは、 $-10^{\circ} \sim +90^{\circ}$ というように、2次電子検出器の方向にのみ大きく傾斜するようになっています。

×: 試料が2次電子検出器よりになっている



○: 試料が2次電子検出器の逆よりになっている



「[観察距離とスポット径](#)」でご紹介したように、観察距離を短くするとスポット径が小さくなり、分解能が高くなります。試料を2次電子検出器の逆より置くことで、観察距離を短くできます。

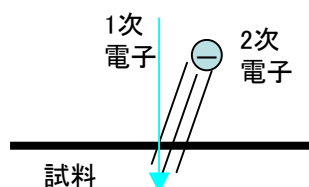
3Dリアルサーフェスビュー顕微鏡 VEシリーズには、試料室内部が確認できるカラーカメラを装備することで、試料傾斜時の不安はトラブルを解消しています。

3Dリアルサーフェスビュー顕微鏡

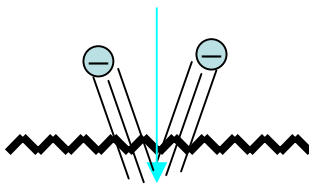
VI- ii . 試料傾斜の+ α 効果

試料の傾斜には、角度を変えて観察するという点以外に、「2次電子の発生量」でご紹介したとおり、試料からの2次電子発生量を増加させるメリットもあります。これにより観察像のノイズを抑えたり、帯電しにくくすることができます。

SEMは平滑な斜面の観察が苦手



上図のような平滑な表面は最も観察しにくくなります。下図のように荒れた表面なら斜面の集合であるため、観察しやすくなります。



観察像にノイズが多くなる

→表面が平滑な試料は2次電子発生量が少ない

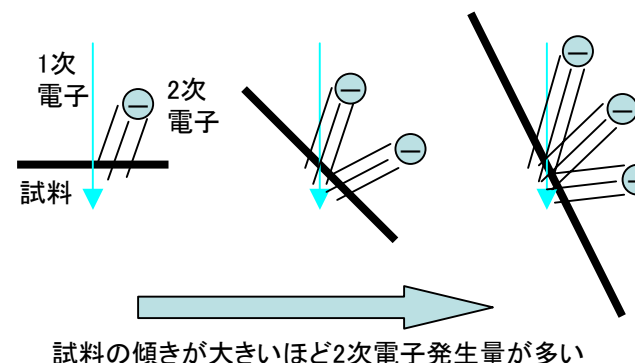
→信号量が少ないので、S/Nが悪く、観察像にノイズが多くなる

帯電しやすい

→表面が平滑な試料は2次電子発生量が少ない

→入射する1次電子の数に比べて、放出される2次電子の数が少ないため、試料に電子が溜まる。

2次電子の傾斜角効果



試料の傾斜には

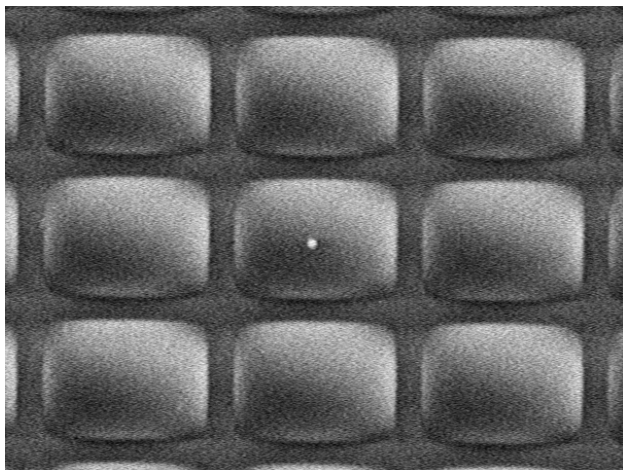
- ・観察像のノイズを減らす
- ・帯電しにくくする

という+ α の効果があります。

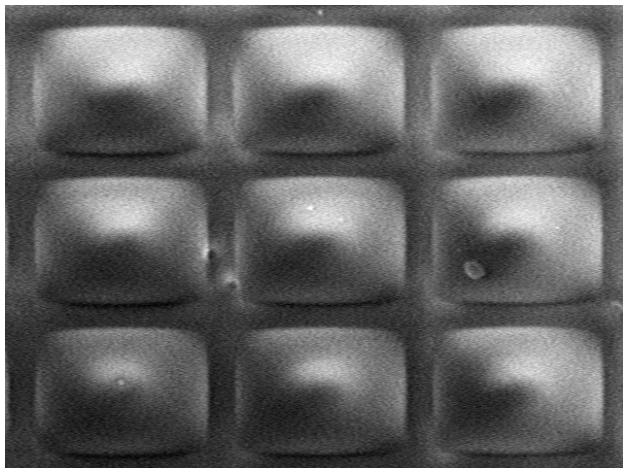
VI-iii. 試料傾斜の+ α 効果例

試料の傾斜なし

ノイズが多い



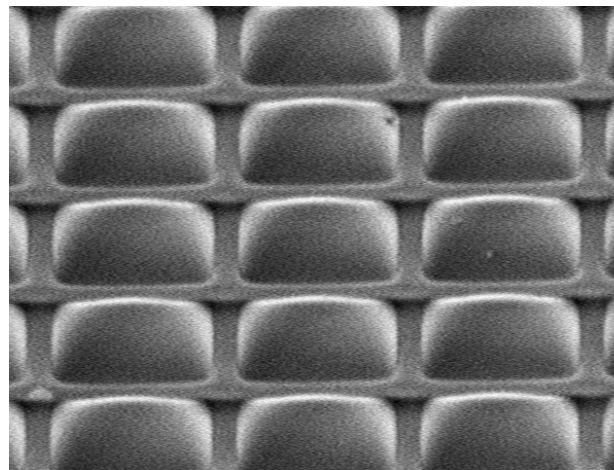
帯電による偽形状が見られる



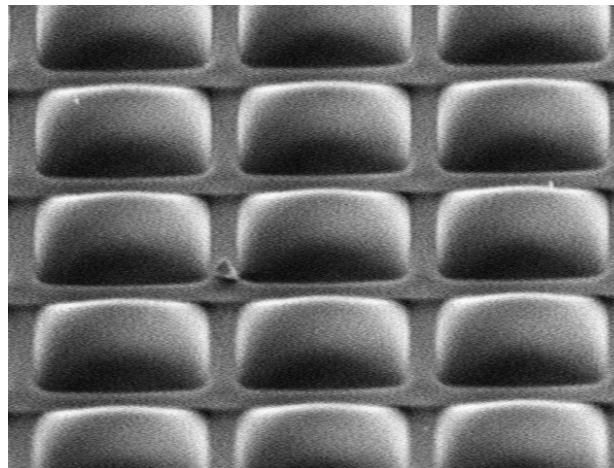
試料はCCDです。
CCDのように、表面が平滑な、ガラス、フィルムなどの観察では、観察像にノイズが多くなります。また非蒸着で観察する場合には、非常に帯電しやすくなります。

試料の傾斜45°

ノイズが減少



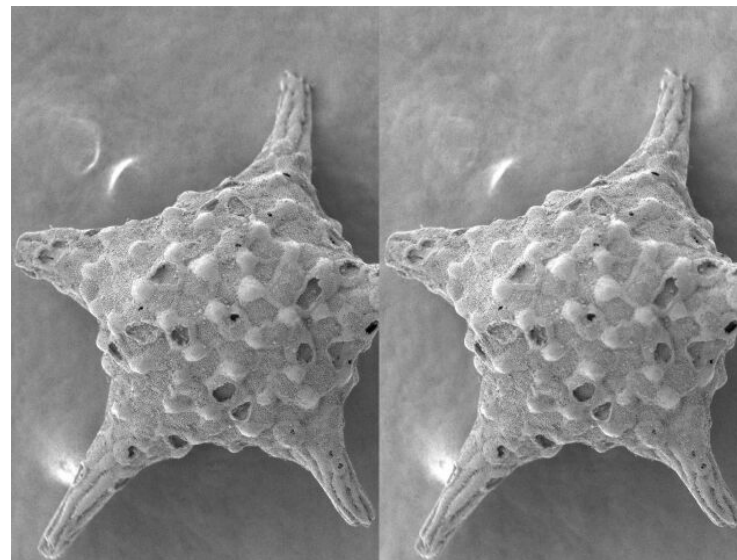
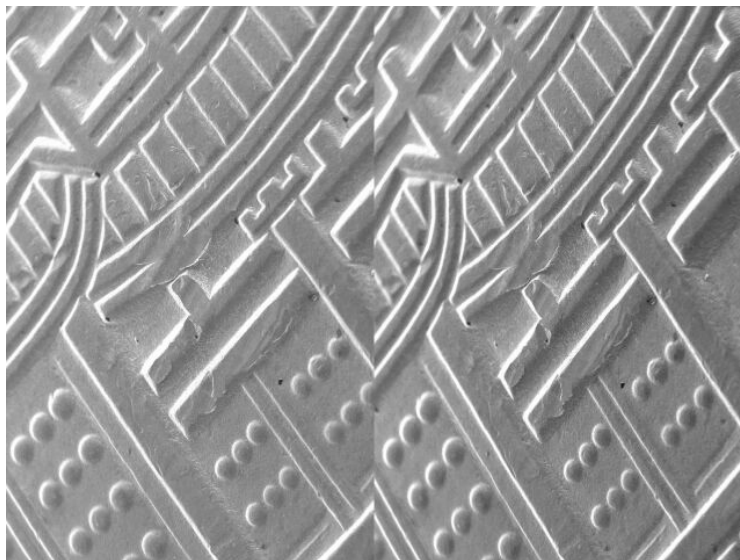
帯電による偽形状がなくなる



試料を傾けることで2次電子発生量を増やすと、観察像からノイズが減り、見やすくなります。また帯電も起こりにくくなります。

VII. 立体視をしてみよう

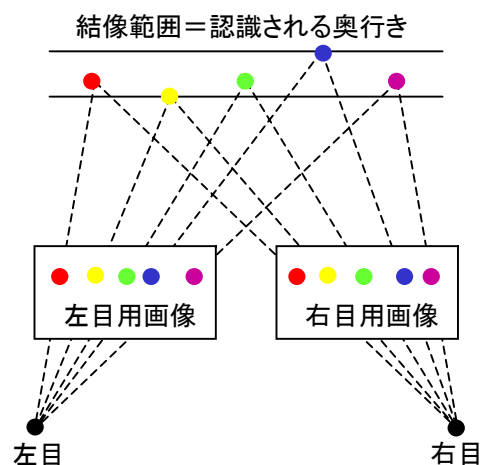
「[試料の傾きを変えてみよう](#)」でもご紹介しましたが、大半のSEMには試料の角度を簡単に変えることができるステージが装備されています。この傾斜ステージを使えば、立体視に必要な視差画像の撮影も簡単です。立体視画像なら試料の凹凸が手に取るように理解できるので、より正確な解析に役立ちます。



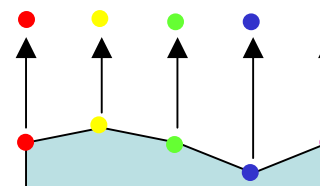
VII-i. 立体視の仕組み

人は左右の目で見た角度差から、奥行き情報を入手しています。立体視では、この仕組みを利用して、あたかも左右の目で見たような2枚の観察像を撮影し、これらの観察像をそれぞれの目で見ることによって、立体感(奥行き情報)を得ています。左右の目で見た際の角度差を視差といい、これに似せて撮影された画像を視差画像と呼びます。

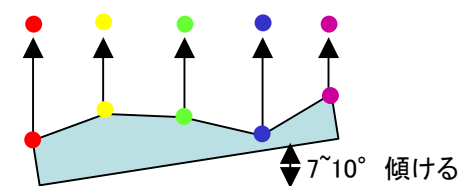
裸眼立体視(平行法)の仕組み



左目用画像と特徴点の並び



右目用画像と特徴点の並び



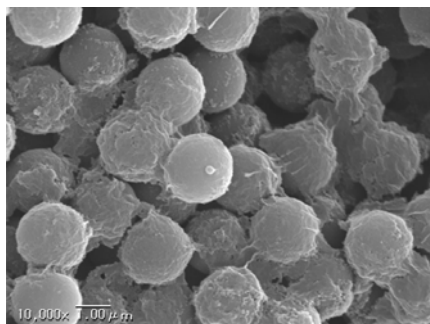
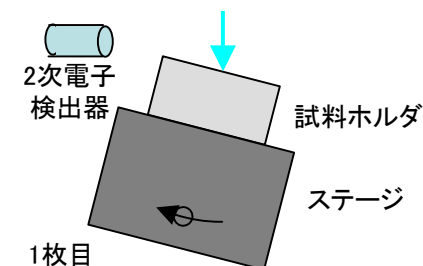
異なる角度から試料を観察すると試料の特徴点が並ぶ間隔が異なって観察されます。人はこの間隔の違いから奥行きを認識するため、これを利用して試料の立体像を観察します。

VII- ii . 視差画像の撮影方法

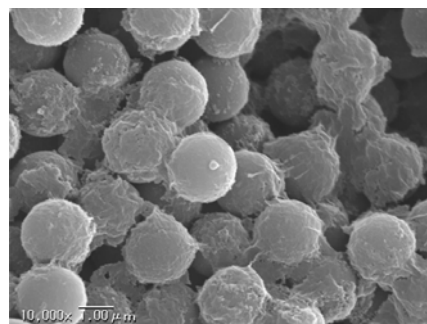
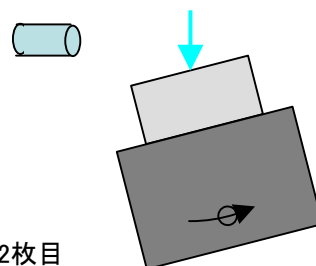
大半のSEMには傾斜ステージが装備されているため、簡単に視差画像の撮影が可能ですが、通常は画面上側が下る形に傾斜するため、立体視のためには撮影した画像を回転する必要があります。「平行法」では撮影した画像を反時計回りに90°回転し、1枚目の観察像を左、傾けた観察像を右に並べます。傾ける角度は7~10°程度が適切とされます。より自然な立体像を得るために、1枚目を-3.5~-5°、2枚目を+3.5~+5°傾けて撮影すると良いでしょう。

視差画像の撮影方法

1. 傾斜ステージを-3.5~-5°傾けて左目用観察像を撮影



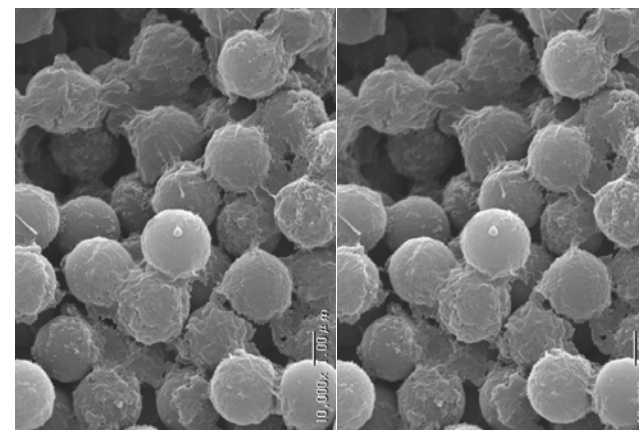
2. 傾斜ステージを+3.5~+5°傾けて右目用観察像を撮影



3. 観察像を反時計回りに90°回転し、1枚目を左、2枚目を右に並べると完了

1枚目

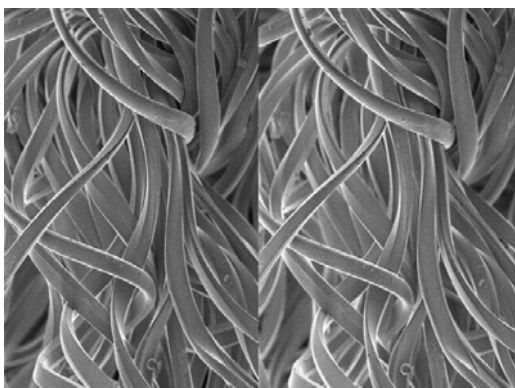
2枚目



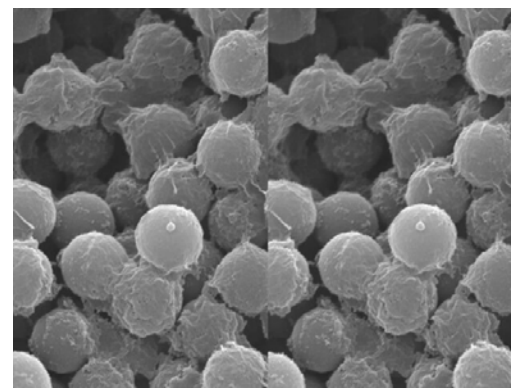
VII-iii. 立体視サンプル(平行法)

視差画像による裸眼立体視では、試料の凹凸が非常にわかりやすく試料の理解が進みます。一方で個人による得手不得手もあり、万人向けではない面もあります。慣れないうちは、右目と左目がそれぞれの観察像しか目に入らないような仕切を利用すると良いでしょう。また観察像横幅の6倍程度の距離から観察すると立体視しやすいようです。(画像をクリックすると大きな画像がご覧になれます)

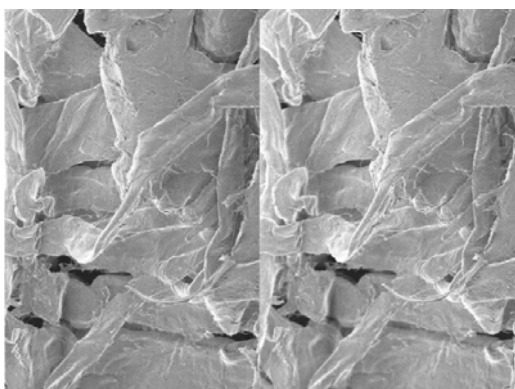
化学繊維



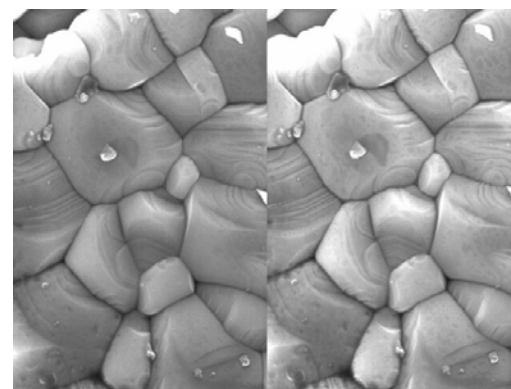
ラテックス



フィルター



フェライト



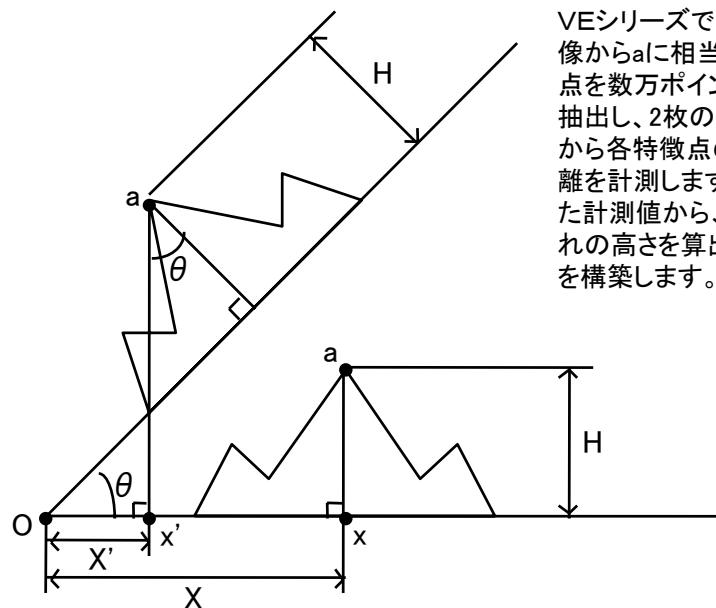
VII-iv. SEMによる3Dモデル構築

3Dリアルサーフェスビュー顕微鏡 VEシリーズには、視差画像から3Dモデルを構築する機能が搭載されています。構築された3Dモデルは、回転させて任意の方向から観察するだけでなく、幅、高さなど3D計測まで可能となっており、観察工数や、これまで別の機器で測らざるを得なかった計測も同時に行えるので、解析効率向上をお手伝いします。

3D構築の原理

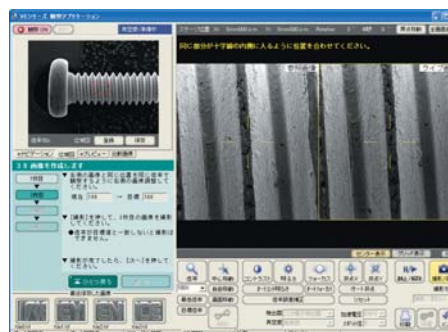
試料を θ 傾けると、試料表面の任意のポイントaの観察像での位置はxからx'に移動します。回転の起点をO、Oからx、x'までの距離をそれぞれX、X'、aの高さをHとすると、それぞれの関係は以下の式となります。

$$X' = X \cos \theta - H \sin \theta \rightarrow H = X / \tan \theta - X' / \sin \theta$$
 この式で表されるように、試料を θ 傾けて観察像上でのaの移動距離を計測することでaの高さを求めることができます。

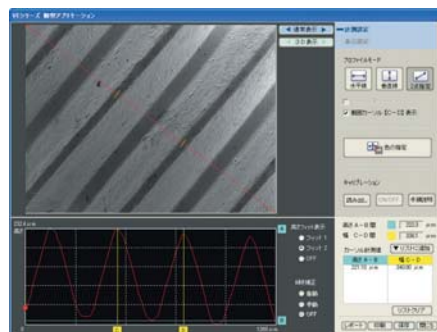


VEシリーズでは、観察像からaに相当する特徴点を数万ポイント自動抽出し、2枚の視差画像から各特徴点の移動距離を計測します。得られた計測値から、それぞれの高さを算出し3D像を構築します。

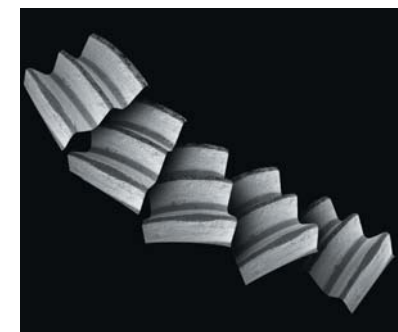
視差画像の撮影も専用ガイド機能搭載で簡単



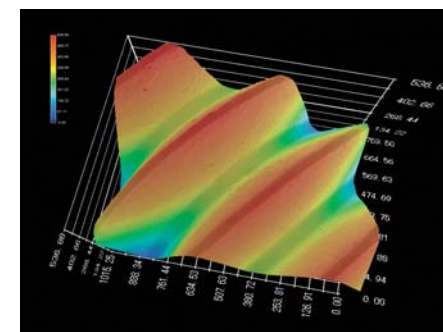
3次元形状の計測も可能



構築された3D像は自由に操作が可能



高さカラー表示で凹凸を可視化

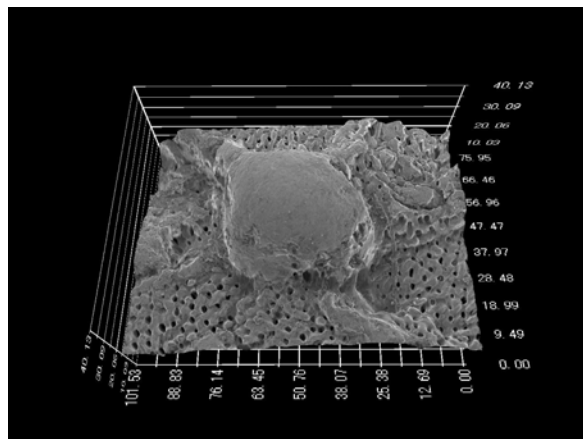


3Dリアルサーフェスビュー顕微鏡

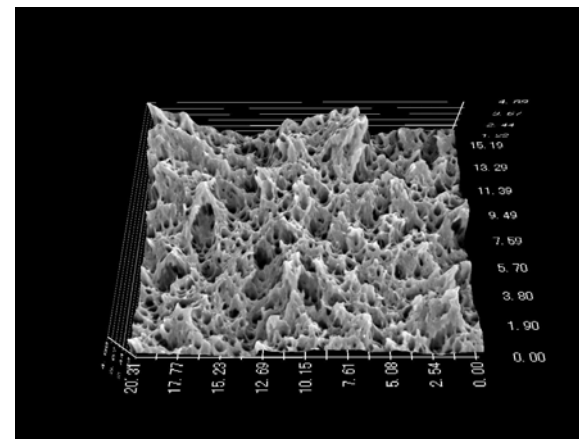
VII- v . 3Dモデルサンプル

VEシリーズには構築された3Dモデルを専用の表示アプリケーションと一体化して保存する機能があります。この機能を使えば、データを送付先でも3Dモデルを自由に操作して確認することができ、意思疎通の円滑化をお手伝いします。（画像をクリックすると3D Viewerが起動し、自由に操作していただけます。）

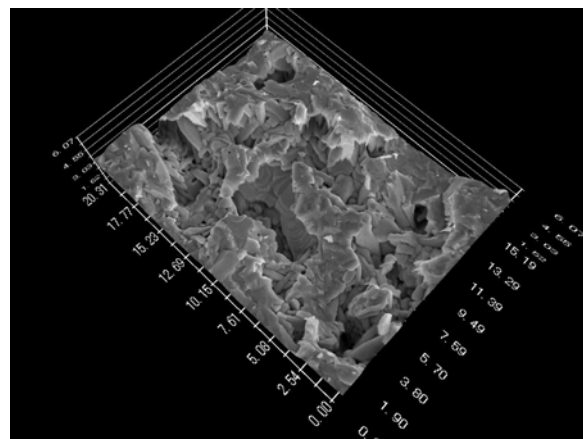
有孔虫
x1000



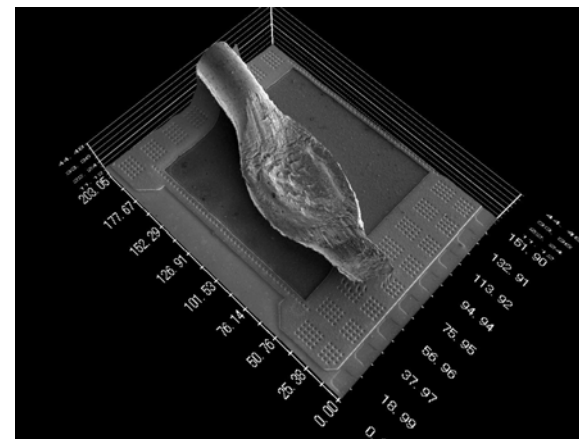
樹脂破面
x5000



チップ
キャパシタ断面
x5000

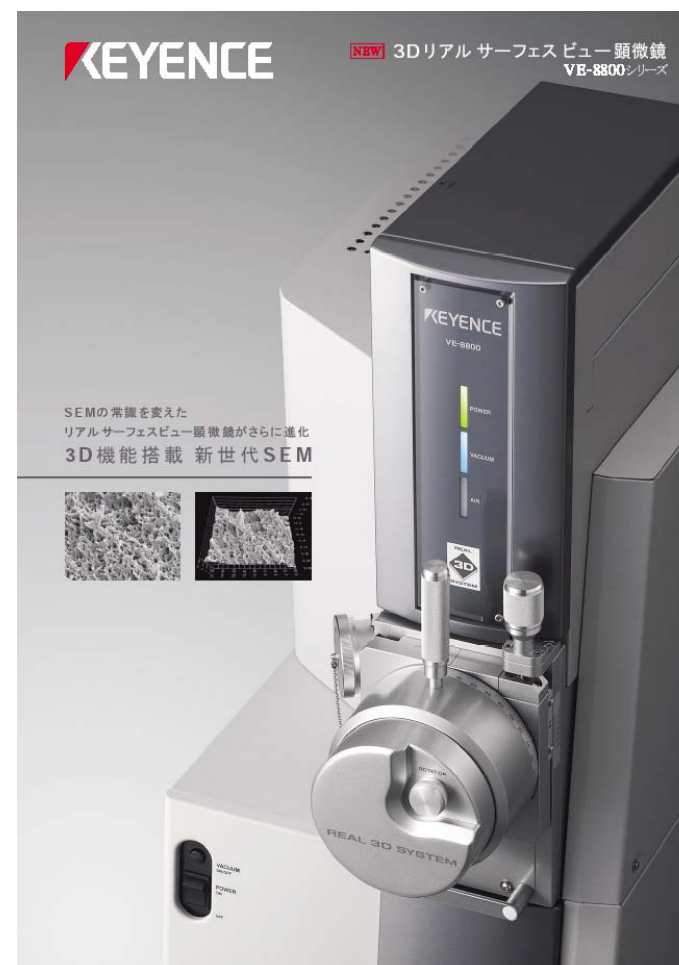


ワイヤー
ボンディング
x500



新世代SEMのご紹介

キーエンスでは、従来のSEMの常識を覆す「デスクサイドサイズ」「超簡単操作」に加え、数々の先進機能を搭載した新世代SEM「3Dリアルサーフェスビュー顕微鏡」をご紹介します。資料の請求、デモンストレーションなどお気軽にお申し付けください。



3Dリアルサーフェスビュー顕微鏡

比べて下さい。従来のSEMと

【従来SEM】

【Vシリーズ】

前処理

蒸着が必要

試料には蒸着処理が必要で、手間がかかるのはもちろん、試料を破壊してしまいます。

非蒸着観察

面倒な蒸着処理の必要なし。簡単で、しかも試料を破壊しないので忠実な観察が可能。

ガラスや紙などの非導電性試料でも高倍率で観察できます。

表面観察

最表面が観察できない

高加速電圧で観察するため、試料の最表面を観察することができません。

最表面観察

低加速電圧観察が可能なので、試料の最表面を観察できます。

設定によって見え方が大きく変わるSEM。高加速から低加速まで幅広い観察に対応。

3D観察

高額な専用機が必要

専用に設計された高額な機種が必要で、操作にも熟練を要するため簡単にはできません。

【世界初】

3D標準搭載、しかも簡単

標準搭載で、操作も簡単。最適アルゴリズムで3D形状を忠実に再現します。

表面の観察だけでなく、表面形状の測定も簡単。

操作性

専門知識が必要

用語等の専門知識が必要で、習得まで時間が必要。

フローチャートに従うだけ

フローチャートに従って進めるだけの簡単操作。初めての方にもお使いいただけます。

基本的な数値なら試料の材質と分かりやすい観察条件を選ぶだけの超簡単操作。

メンテナンス

清掃作業が必要

定期的な清掃作業やメーカーによるメンテナンスサービスが必要。

消耗品の交換のみ

メンテナンスが必要な部品をすべて消耗品化。ワンタッチ交換で調整も全て自動です。

メンテナンスは全てカセット式でワンタッチ。交換後の調整も自動で最高性能を保ちます。

設置場所

専用部屋が必要

水冷設備などの導入工事、専用部屋などの特別なスペースが必要。

デスクサイドに

幅40cmで冷却設備も不要です。AC100Vさえあればデスクの横でも簡単に設置できます。

機種	準備	観察	終了	合計
VL-9000	3分	3分	3分	9分
低加速電圧SEM	20分	3分	15分	38分

結果に比べて約4分の1の時間を節約。

ちょっとしたスペースと電源さえあればOK。電源を入れればすぐに観察可能です。

お問い合わせ窓口 / 連絡先一覧

「SEMを使いこなそう！」をご覧くださいありがとうございます。
記載内容についてのご質問、また新世代SEM「3Dリアルサーフェスビュー顕微鏡」についての
詳しい説明や訪問デモンストレーションのご希望がございましたら、下記連絡先までお気軽にお
申し付け下さい。

お問い合わせ窓口

TEL : 0120-739-007
FAX : 06-6379-1140
Web : <http://www.keyence.co.jp/microscope/req/soudan/index.jsp>

取扱営業所一覧

仙台営業所	: 022-723-5211
浦和営業所	: 048-831-4211
東京営業所	: 03-5769-2281
横浜営業所	: 045-471-3211
静岡営業所	: 054-202-4111
名古屋営業所	: 052-950-5711
大阪営業所	: 06-6392-4211
福岡営業所	: 092-452-8430