

# 広視野で高精度に表面形状・層断面を計測する

## —走査型白色干渉顕微鏡 VS1000シリーズ—

小野田 有吾  
Onoda Yugo

石橋 清隆  
Ishibashi Kiyotaka

柳川 香織  
Yanagawa Kaori

佐藤 栄広  
Sato Yoshihiro

近年、スマートフォンの高性能フィルムや燃料電池の電解質膜には種々の薄膜が使われ、あるいは燃費向上のためのエンジンピストン表面の粗さ管理など、われわれの生活を支える技術基盤として薄膜および表面の計測技術は欠かせない。この表面解析ソリューションの一つとして走査型白色干渉顕微鏡 VS1000 シリーズをリリースし、ラインアップを拡

充した。走査型白色干渉顕微鏡は表面形状・表面粗さ・膜厚を三次元で計測可能な装置である。数ミリメートルの広い観察範囲を高い垂直分解能0.01 nmで、数秒程度の時間で計測することが可能である。さらに、透明多層膜の膜厚や層断面、あるいは層内部にある異物・はがれなどを非接触・非破壊で計測できる特徴を有する。

### 1. はじめに

走査型白色干渉顕微鏡 (CSI: Coherence Scanning Interferometry) は、光の干渉を利用して表面形状を計測する装置である。三次元形状計測装置における走査型白色干渉顕微鏡の位置づけを図1に示す。走査型白色干渉顕微鏡は、数ミリメートルの広い観察範囲(最大7.1 mm×5.3 mm)を数秒で計測可能でありながら、走査型プローブ顕微鏡

(SPM: Scanning Probe Microscope) と同等の垂直分解能0.01 nmを有する。このため、全体的な表面形状を高さ方向に高精度で把握するのに適している。さらに、光を用いた非接触計測であるため非破壊・非汚染である。また、透明多層膜の膜厚計測も可能であるという特徴を併せ持っている。

### 2. 走査型白色干渉顕微鏡の測定原理と基本光学系

走査型白色干渉顕微鏡の基本光学系を図2に示す。光源からの白色光はバンドパスフィルタによって特定の波長幅

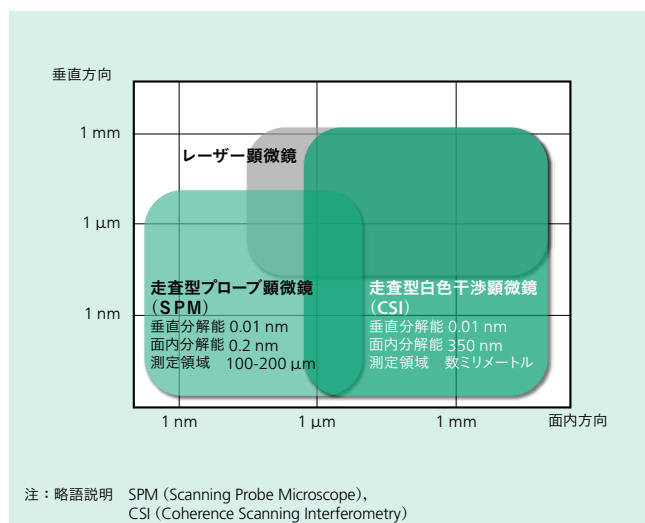


図1 | 三次元形状測定装置における走査型白色干渉顕微鏡の位置づけ

走査型白色干渉顕微鏡は表面解析ソリューションの一つとして、走査型プローブ顕微鏡と補完的な関係にある。

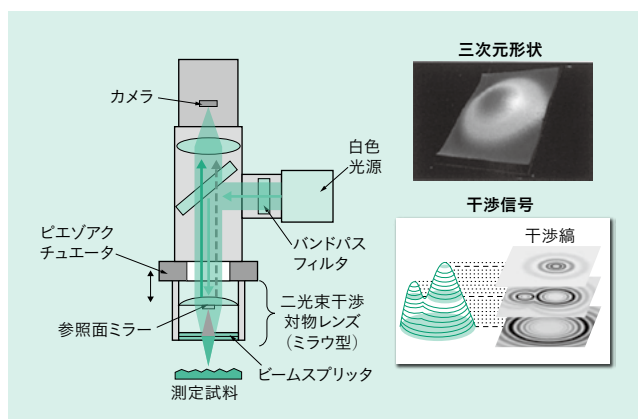


図2 | 走査型白色干渉顕微鏡の基本光学系と観測される干渉縞

ピエゾ機構によりビームスプリッタと測定試料面までの距離を変化させることで干渉信号が得られる。この干渉信号を基に三次元形状の情報に変換する。

の光に制限され、二光束干渉対物レンズに導入されてビームスプリッタにより参照面ミラー側と測定試料側の二方向に分割される。参照面ミラーおよび測定試料からのそれぞれの反射光はカメラで結像される。ピエゾ機構により対物レンズをZ方向に移動させてビームスプリッタと測定試料までの距離を変化させることで、明暗の干渉信号が形成される。この干渉信号を独自のアルゴリズムで演算して高さ情報に変換することで、測定試料の表面形状が決定できる<sup>1)</sup>。

一般的な光学顕微鏡では、対物レンズの倍率に応じて焦点深度が異なるため深さ方向の垂直分解能は変化してしまうが、走査型白色干渉顕微鏡は光の干渉現象を利用しているため、垂直分解能は対物レンズの倍率に依存せず常に一定となる。すなわち、低倍率・広視野領域から高倍率・微細観察まで、高い精度の垂直分解能0.01 nmが得られる。

### 3. 走査型白色干渉顕微鏡VS1000シリーズ

走査型白色干渉顕微鏡VS1000シリーズは、測定試料の大きさに合わせてVS1330, VS1530, VS1540, VS1550の4機種を展開している。最上位機種であるVS1550の試料に対する主な仕様値を表1に、外観を図3にそれぞれ示す。走査型電子顕微鏡 (SEM: Scanning Electron Microscope) やSPMに比べて大きい試料の測定が可能である。

## 4. 走査型白色干渉顕微鏡による表面形状測定例

### 4.1 走査型白色干渉顕微鏡による定量的な高さ計測

走査型白色干渉顕微鏡で得られる画像およびSEMで得られた反射電子像の画像を図4に示す。走査型白色干渉顕微鏡ではSEMと相関が取れた画像を取得でき、かつ定量的な高さデータが得られるのが特徴である。

表1 | VS1550の主な仕様

走査型白色干渉顕微鏡は広い領域で高精度な垂直分解能が得られる。なお、画像連結機能であるスティッチングをすることで数十ミリメートルの視野領域の画像取得も可能である。

項目	仕様
対応試料	高さ: 90 mm以下 質量: 1 kg以下
XY自動ステージ	移動量: XY±75 mm 試料面: W160 mm×D160 mm
垂直分解能	0.01 nm (最高)
水平分解能	340 nm (110×対物レンズ使用時)
最大測定領域	7.1 mm×5.3 mm (一視野)



図3 | 走査型白色干渉顕微鏡VS1550

VS1000シリーズの最上位機種である。

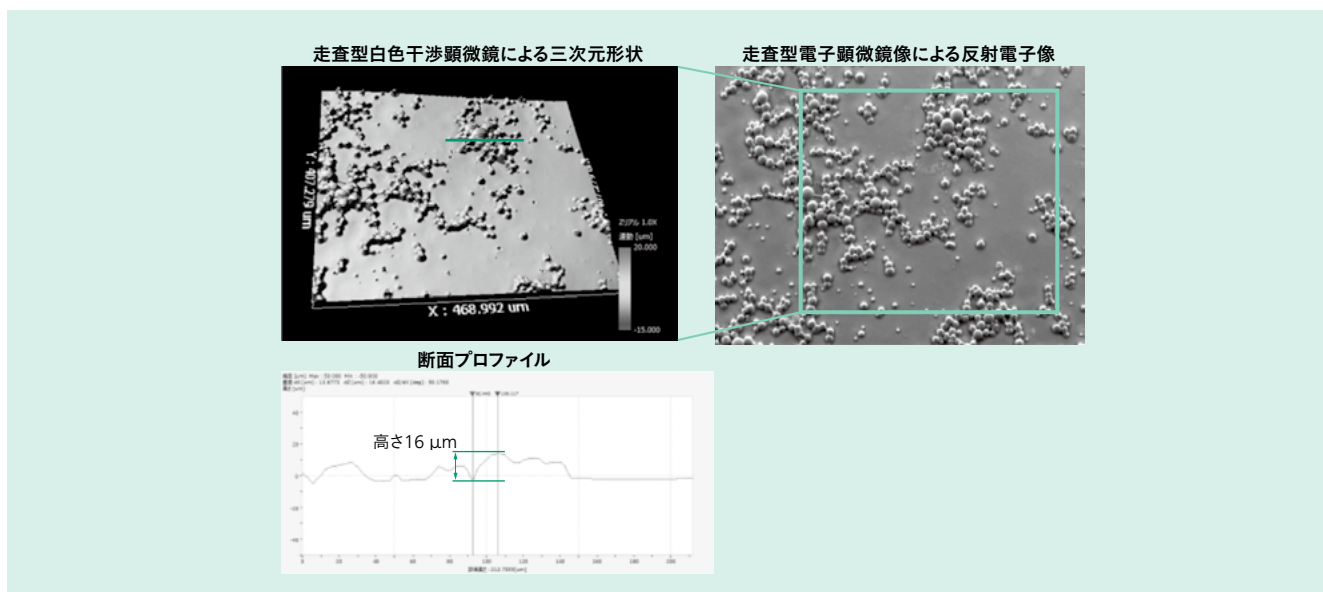


図4 | 走査型白色干渉顕微鏡とSEM画像の比較

撥 (はっ) 水処理が施された食品パッケージの同一箇所を観察した。走査型白色干渉顕微鏡はSEM (Scanning Electron Microscope) と相関が取れた画像を取得でき、かつ定量的な高さデータが得られるのが特徴である。

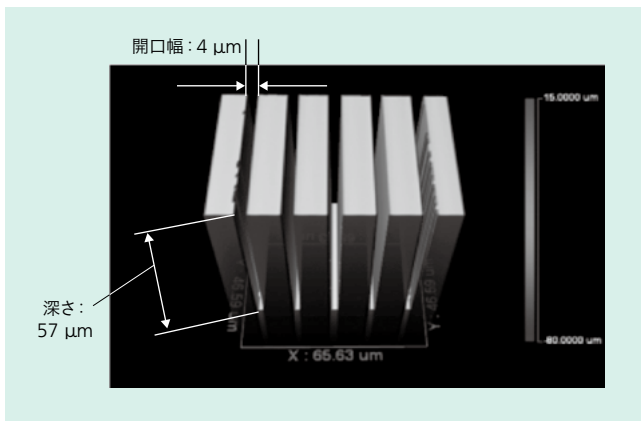


図5 | ディープレンチの測定例

低倍率レンズでも高い垂直分解能を持つ特徴を生かして高アスペクト比の溝形状を計測した。

らに断面プロファイル計測データによって粒状形状の高さが16 μmと分かる。SEMでは高い面内分解能による正確な形状観察を、走査型白色干渉顕微鏡では定量的な高さ計測を実施することにより、多角的に精度の高い粒子サイズの評価が可能である。

#### 4.2 高アスペクト比の形状測定

幅が狭く奥行きが深い高アスペクト比の溝の計測を行った例を図5に示す。開口幅4 μm、深さ57 μmとアスペクト比が14もあるにもかかわらず、溝底まで形状が計測できている。高アスペクト比形状は、レーザー顕微鏡では光が届きにくい、プローブ顕微鏡ではカンチレバーが入りにくいなど、従来の方式では苦手とされてきた。走査型白色干渉顕微鏡では垂直分解能は対物レンズの倍率に依存しないという特徴を生かして、低倍の対物レンズを使用し、開口数(NA: Numerical Aperture)を小さくして光を集光させずに奥底まで光を届かせることで高アスペクト比の形状計測が可能となった例である。

#### 4.3 広域視野計測によるスジ・むらの評価

包装フィルム表面の形状計測例を図6に示す。目視でスジ不良が確認できるが、狭い範囲の計測では、不良部/正常部の違いを明確化できない。走査型白色干渉顕微鏡を用いたミリメートルオーダーの広域視野計測によって試料全体を捉えることで、スジ部と正常部の局所領域での粗さの違いが計測された。低倍率・広域視野領域でも高い垂直分解能が得られる特徴を生かした事例である。

#### 4.4 トライボロジー計測への応用

自動車のピストンヘッド部には、潤滑油が滑らかに伝わるように数マイクロメートルの溝が刻まれている。この摩

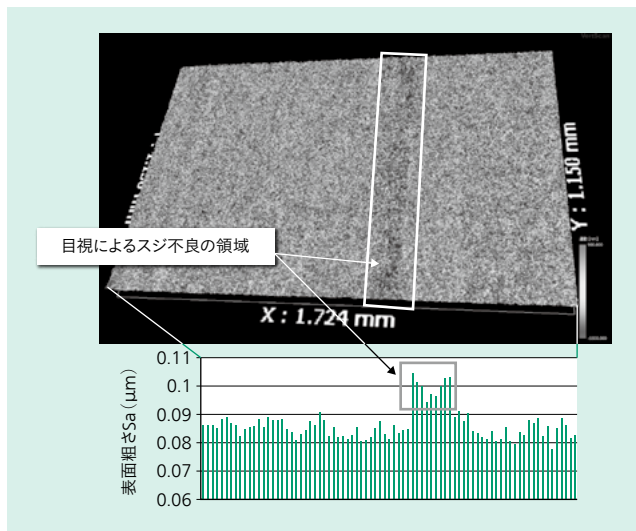


図6 | 包装フィルムスジ不良

広域視野計測により、スジ部と正常部の表面形状や粗さの違いが分かる。

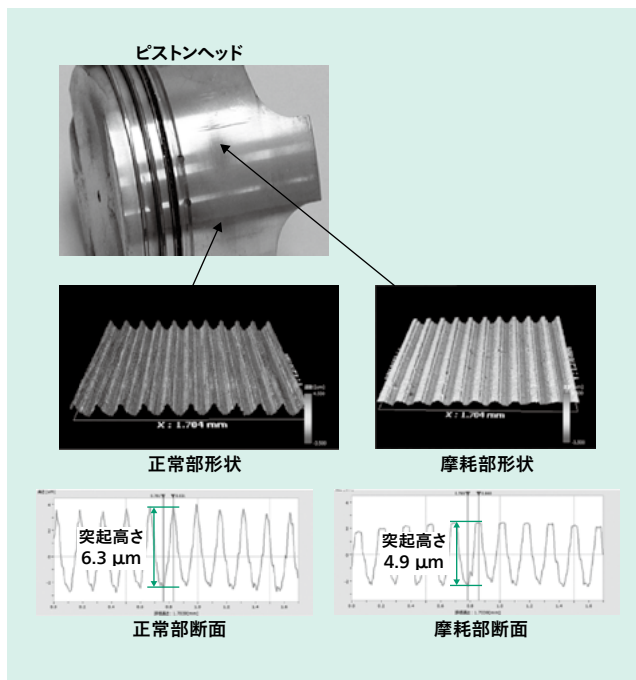


図7 | ピストンヘッド部の正常部と摩耗部の比較

高さ情報が得られる走査型白色干渉顕微鏡は、正常部・摩耗部の突起の様子を定量的に捉えることができる。

耗変化を面で捉えた結果を図7に示す。摩耗部では突起が1.4 μm潰れている様子が計測された。VS1000シリーズは表面粗さの国際規格であるISO25178表面性状(面粗さ測定)に準拠しているため、摩耗状態を定量的に捉えることが可能である。

### 5. 層断面解析による膜厚測定例

走査型白色干渉顕微鏡は、透明多層膜体の膜厚や内部にある異物・はがれなども計測可能である。多層膜のそれぞれの光学界面で得られる干渉信号から多層構造を画像化することで、多層膜体の層構成や内部状態を、断面を作成せずに非破壊で確認できるという利点がある。包装用の6層

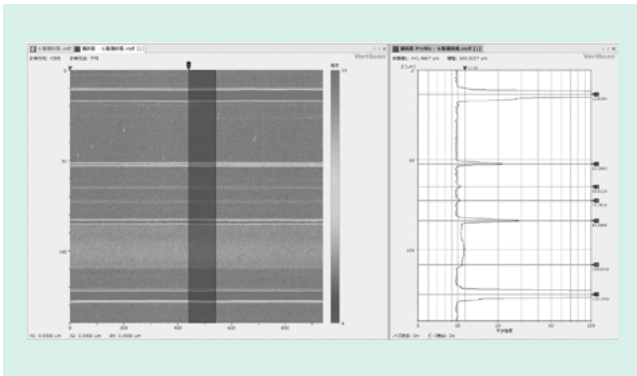


図8 | 包装用6層フィルムの層断面解析結果

VS1000シリーズは、独自の検出手法により透明多層膜体の膜厚計測が可能である。

フィルムの層断面解析結果を図8に示す。各界面における干渉を断面図として捉えられていることが分かる。また、層内部に気泡などの欠陥がある場合、その欠陥の深さ情報を取得できる。光学距離で1  $\mu\text{m}$ 以上の厚みがあれば干渉信号の分離が可能であり、内部の膜厚を計測することができる。また、屈折率差が小さい光学界面でも計測が可能である。最表面から計測していくため、基板に凹凸があっても最表面形状が平坦であれば平坦として観測される点も特徴である。

## 6. おわりに

走査型白色干渉顕微鏡は、光干渉技術を用いることで、広域を高い垂直分解能で、短時間に非接触・非破壊に計測できる装置であることを解説した。

走査型白色干渉顕微鏡VS1000シリーズを、表面解析ソリューションの一つとしてSEM・SPMと併せて新たなラインアップとして加えたことにより、顧客の最先端・最前線の事業創造に貢献し、最先端ソリューションを創出していく。

### 参考文献

- 1) 吉澤 (編著) : 最新 光三次元計測, 朝倉書店 (2006)
- 2) 伊與木, 外 : 走査型プローブ顕微鏡の産業向け計測への展開—白色干渉計複合型プローブ顕微鏡「AFM5400L」—, 日立評論, 95, 9, 600~605 (2013.9)

### 執筆者紹介



小野田 有吾

株式会社日立ハイテクサイエンス 設計本部 分析設計部 所属  
現在、走査型白色干渉顕微鏡の開発に従事  
博士 (工学)  
応用物理学协会会员



石橋 清隆

株式会社日立ハイテクサイエンス 営業本部 分析システム営業部 所属  
現在、走査型白色干渉顕微鏡の事業に従事



柳川 香織

株式会社日立ハイテクサイエンス 営業本部 応用技術部 所属  
現在、走査型白色干渉顕微鏡のアプリケーション開発に従事



佐藤 栄広

株式会社日立ハイテクサイエンス 設計本部 開発設計部 所属  
現在、走査型白色干渉顕微鏡の開発、マネジメントに従事