

# デジタルマイクロスコープの紹介

眞鍋 亮太\*

MANABE Ryota

## 1. はじめに

昨今の自動車をはじめとする各種産業の高度化に伴い、軸受やギヤ等の使用環境の過酷化が進むと見られており、さらなる部品の高強度化や長寿命化が望まれている。それらに対する研究・開発の方向性を迅速かつ確に決定していくためには、各種部品の破損品について破面を詳細に解析し、その破損機構を把握することが重要である。破面解析にあたっては、三次元的な凹凸や傾斜面が形成されている破面の全体特徴を捉えることが第一歩となる。ただし、観察手段として一般的に利用されている光学顕微鏡は、焦点の合う深さ範囲が狭く（被写界深度が浅く）、三次元的な観察ツールとしては必ずしも適さない。また、破面や組織を高分解能で観察することに対しても、光学顕微鏡の最大倍率は1000倍程度に制限され、十分とは言えない。そのため、破面解析の多くは、焦点の合う深さ範囲が比較的広く、凹凸面の観察に適した走査型電子顕微鏡（SEM）による観察が行われている。ただし、同装置の使用において、観察用ステージに搭載可能な大きさに破面の一部を切り出す必要がある場合が多いこと、また、同装置で三次元的な凹凸情報を可視化出来ないため、解析の高度化に限界があることが課題となっていた。



図1 デジタルマイクロスコープの外観  
(提供：株式会社キーエンス)

このような背景のもと、当社では、破面解析や観察技術の高度化を図るため、比較的大きな試料を搭載可能な試料ステージを有し、三次元凹凸の観察性能に優れると共に、汎用SEM観察の一部をも代替可能となる高分解能を備えたデジタルマイクロスコープ（株式会社キーエンス製：VHX7000<sup>1)</sup>、図1）を導入した。

## 2. デジタルマイクロスコープの特徴

新規導入したデジタルマイクロスコープの概要を表1に示す。本装置の主な構成は、4K画質のカメラ部、4種類のレンズで20～6000倍の倍率をカバーする電動レボルバ方式の対物レンズ部、X、Y、Z方向の電動機構を有する試料ステージ部（積載可能荷重5 kgで大型試料対応が可能）、それらが付帯する観察角度調整機構付きのスタンド部、および観察画像表示モニタと一体型となった各種観察制御用コントローラ部から成る。同装置の特長は、観察機能、観察支援機能に加えて、各種測定機能が充実しているところにある。それらの機能から代表的なものについて以下で紹介する。

観察機能に関しては、試料の全体感を把握するために有効な低倍率（最低倍率20倍）から、破面の詳細情報を得るために必要な高倍率（最高倍率6000倍）までを一機の装置でカバーすることが可能となっている。さらに観察面に高低差がある場合にも、観察領域全域で焦点のあった画像を取得できる機能（深度合成機能）を持つ。本機能は、破面観察に適しているのみならず、試料ステージ面に対して観察面が平行でない傾斜試料を高分解能で観察する場合にも有効活用できる。また、深度合成機能を使って取得した画像は、二次元画像や三次元画像として保存しておくことができる。三次元画像を保存しておけば、後述の各種測定機能を利用して、後から三次元凹凸情報を取り出すことも自在に行える。

観察支援機能に関する特徴として、凹凸形状の強調や高分解能観察に欠かせない各種照明調節機能を有することが挙げられる。基本の照明方式は表2に示す4種類から選択することができ、さらに同軸落射とリング照明をミックス

\* 研究・開発センター 基盤研究室 材料研究グループ

表1 デジタルマイクロスコープの概要

項目	内容
メーカー	株式会社キーエンス
装置構成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ハイレゾリューションヘッドVHX7100 (4Kカメラ部)</li> <li>・高解像度対物レンズVHX-E20, E100, E500, E2500 (電動レボルバ方式、対物レンズ4種類を搭載)</li> <li>・大型フリーアングル観察システムVHX-S770 (観察角度を調節可能で、大型電動試料ステージが付帯したカメラ搭載用スタンド)</li> <li>・コントローラVHX-7000 (各種観察制御装置、表示用モニタと一体型)</li> </ul>
基本仕様	<ul style="list-style-type: none"> <li>・撮像素子：1/1.7型1222万画素CMOSイメージセンサ (4K画質)</li> <li>・倍率：20～6000倍</li> <li>・積載可能荷重：5 kg</li> </ul>
装置の主要機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・深度合成機能 (凹凸のある観察視野全面に焦点の合った画像を生成)</li> <li>・照明切換え機能 (詳細は本文中ならびに表2に記載)</li> <li>・ハレーション除去機能</li> <li>・画像連結による広範囲観察機能 (二次元、三次元画像)</li> <li>・二次元計測機能 (寸法測定、粒子解析など)</li> <li>・三次元機能 (三次元表示機能、三次元形状補正機能など)</li> <li>・三次元計測機能 (三次元プロファイル測定、点高さ測定など)</li> </ul>

表2 デジタルマイクロスコープで選択可能な基本照明方式

照明方式	特徴	機能の詳細
①同軸落射照明	高分解能観察に適する	対物レンズを通して垂直照明を照射する機能であり、光学顕微鏡の照明原理と同様のもの
②同軸片射照明	高分解能での凹凸観察に適する	垂直照明の制御により凹凸を強調する機能
③リング照明	比較的低倍での凹凸観察に適する	リング状照明器で斜め方向から照射する機能
④リング片射照明	比較的低倍での凹凸の強調観察に適する	リング状照明器の一部だけを光らせ、凹凸を強調する機能

した照明（両者の割合は調整可能）も選択可能である。また、観察の妨げとなるハレーション（照明光が当たった部分が白くぼやける現象）の除去機能が実装されている。これらの装置機能により、対象物の観察に最も適した照明条件への調整が可能となっている。また、XYステージの電動制御により、レンズの視野範囲に収まらない広範な領域から複数の画像を取得し、その各画像の周縁部の光量を補正しながら画像同士を滑らかに連結させる機能がある。この機能を使用して破面等の全体像を取得しておけば、後からその一部を詳細に観察する必要が生じた場合にも情報をもれなく取り出すことができる。

各種測定機能としては、二次元画像に対しては寸法測定や、粒子解析（自動面積計測、個数カウント他）等の多様な機能を有する。三次元画像に対しては、凹凸を三次元的に可視化する機能や、断面のプロファイル解析を行って高低差を計測する機能、およびその支援として三次元画像の傾きを補正する機能等があり、破面解析技術の高度化に寄

与する支援機能が備わっている。

### 3. 観察事例

導入したデジタルマイクロスコープに関し、上述の機能を活用した観察事例を紹介する。

第一の事例として、当社で軸受用鋼の寿命特性評価に使用しているスラスト型転がり疲れ試験における、汎用の高炭素クロム軸受鋼SUS2 (基本成分として1 mass% Cと1.5 mass%前後のCrを含有した鋼) のはく離について、光学顕微鏡像 (図2 (a)) とデジタルマイクロスコープ像 (図2 (b)) との対比例を示す。光学顕微鏡像は、転動体との転がり接触により形成された試験片上の走行跡に焦点を合わせたものである。被写界深度が浅いためはく離底には焦点が合っておらず、はく離底に焦点を合わせたとしてもその範囲は限定的である。また、光学顕微鏡は垂直照明を利用していることから、はく離部斜面は光を反射し

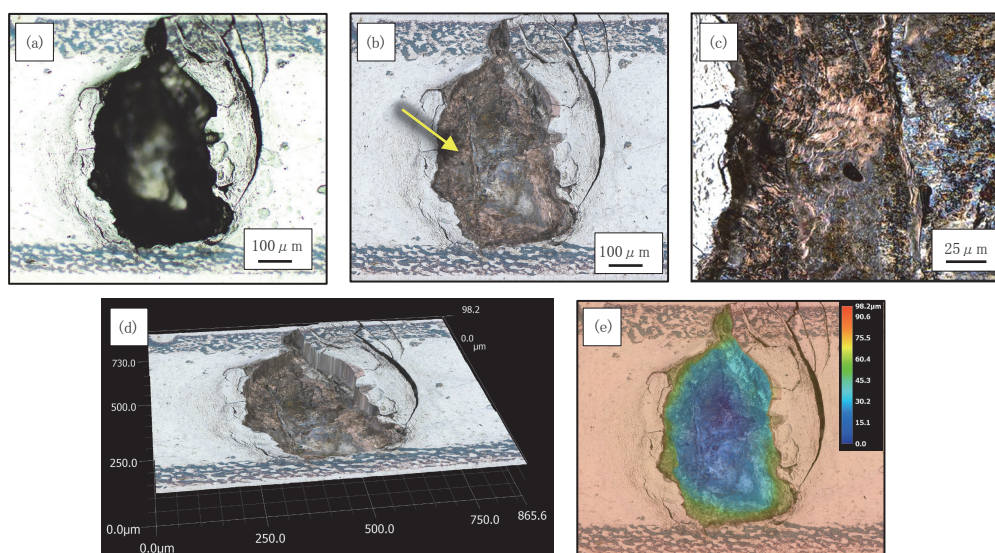


図2 スラスト型転がり疲れ試験後のはく離の観察例  
 (a) 光学顕微鏡像、(b) デジタルマイクログラフ像、(c) bの矢印付近の拡大像、  
 (d) 三次元画像、(e) 凹凸のカラー表示画像

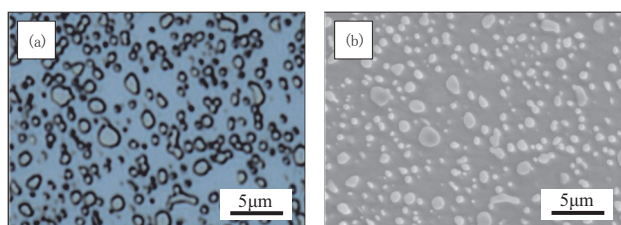


図3 SUJ2球状化焼なまし材の倍率6000倍での同一視野観察例  
 (a) デジタルマイクログラフ像、(b) FE-SEM画像

難しく、得られる情報は乏しくなる。一方で、デジタルマイクログラフ像は、深度合成機能によりはく離部とその周辺全体に焦点の合った画像を取得できている。その際、照明の最適化によってはく離部斜面の様相も鮮明に捉えている。また、同画像は観察倍率1000倍の複数枚画像を画像連結機能で合成したものであり、その一部(図2(b)の矢印部)を拡大しても詳細情報を保持している(図2(c))。さらに、深度合成機能で生成された画像をもとに、三次元的に凹凸を可視化した像(図2(d))や、凹凸のカラー表示画像(図2(e))として表示させることで観察対象破面の特徴を捉え易くなる。これらの機能によって、破損解析に必要な破面に関する情報を従来に比べて高度かつ簡便に取得できる。また、それらを一つの装置で取得可能なことで評価の迅速化にも大いに期待ができる。

第二の事例として、通常の光学顕微鏡では分解能の限界のため詳細観察が困難な、SUJ2の球状化焼なまし組織の高倍率観察例を示す。なお、SUJ2は焼入焼戻しにより硬化させた状態で部品として使用されるが、焼入焼戻しに先立って球状炭化物が分散した状態にするために球状化焼なましを施される。これは主に部品加工時の良好な切削性

や、部品としての優れた機能(機械的特性や疲労特性)を得る目的で行われる。球状化焼なまし組織について、本装置の最大観察倍率である6000倍で取得したデジタルマイクログラフ像(図3(a))と、高分解能観察に利用されるFE-SEMによる同倍率での観察像(図3(b))とを対比して示す。デジタルマイクログラフは、FE-SEMと観察原理が異なるため、見え方は同様とはならないものの、炭化物の形状を詳細に捉えている。このように高分解能観察にも十分に活用できることを確認している。

#### 4. おわりに

新規導入したデジタルマイクログラフの持つ充実した観察機能、観察支援機能、各種測定機能によって、従来はSEMに頼らざるを得なかった破面の詳細観察や高倍率の観察作業等の多くを本装置で完結させることが可能となった。これにより、従来の観察手法では限界があった破面解析技術高度化の実現や、SEM観察に際する事前試料調整作業等の省略、あるいはSEMによる高分解能観察の代替による作業の迅速化が期待される。顧客のニーズに対し、スピード感をもつ的確に対応するための研究支援装置の一つとして、今後活用を図っていく。

#### 参考資料

- 1) 株式会社キーエンスホームページ  
<https://www.keyence.co.jp/products/microscope/digital-microscope/vhx-7000>, (accessed 2021-5-7).