

三次元形状測定機の利用

三谷 幸寛^{*1}
Mitani Yukinori

工業製品は、品質管理のためにさまざまな手法で寸法が測定されている。従来、寸法計測にはノギスやマイクロメータなどが用いられてきたが、最近では、三次元測定機も広く使用されはじめている。本稿では、近年急速に普及が進んでいる非接触式の三次元形状測定機について原理と適用例を説明し、今後の材料損傷調査への展望を紹介する。

キーワード：三次元計測、形状測定、断面プロファイル、材料調査、損傷調査、表面粗さ

1. はじめに

工業製品は、品質管理のためにさまざまな手法で寸法が測定されている。ノギスやマイクロメータなどを用いて手作業で寸法を測定することもあるが、これらの測定機では2点間の距離しか測定できないため、複雑な形状の測定対象物を大量かつ短時間に測定するには、三次元測定機が活用されている。三次元測定機は、測定対象を立体的に捉え、高さ、幅、奥行きなどの三次元の位置情報を得るものであり、測定対象の2点間の距離を測定だけでなく、さまざまな位置の距離を設計データと比較し、平面度、表面粗さ、真円度、断面プロファイルなどを短時間に評価できるという利点をもつ。

一方、メーカーの品質管理だけでなく、使用済み部材の状態確認や、損傷の調査に対しても三次元測定機は非常に強力なツールである。これまでプラントや工場では、損傷部材の正確な形状を測定することができず、取り外すか破壊するなどして現場から持ち出し、実験室などで測定していた。部材を実験室に持ち込んだとしても、損傷の状態

を保持したまま（非破壊）で測定することは難しい。さらに細断するなどの手間が必要な場合もあり、その手間に比べて破壊調査をして得られる情報は限定されたものであった。近年では、図1に示すように、さまざまな形式の形状測定機が目的に応じて運用され、短時間かつ損傷を保持したまま形状測定ができる。プラント部材の摩耗や腐食の形状なども精度良く測定でき、迅速な保守対策が立てられるようになっている。

本稿では、近年急速に普及が進んでいる非接触式の三次元形状測定機について原理と適用例を説明し、今後の材料損傷調査への展望を紹介する。

2. 三次元形状測定機（非接触式）について

2.1 非接触式三次元形状測定機のメリットと種類

非接触式の三次元形状測定機の最大の特徴は、非破壊で試料の三次元情報が得られることである。接触式の三次元測定機は、プローブと呼ばれる球体を試料に当てることでXYZ座標データを取得するため、接触により試料の表面状態を維持することが難しい。また、測定対象の走査速度の

*1：計測事業部 材料試験部 課長

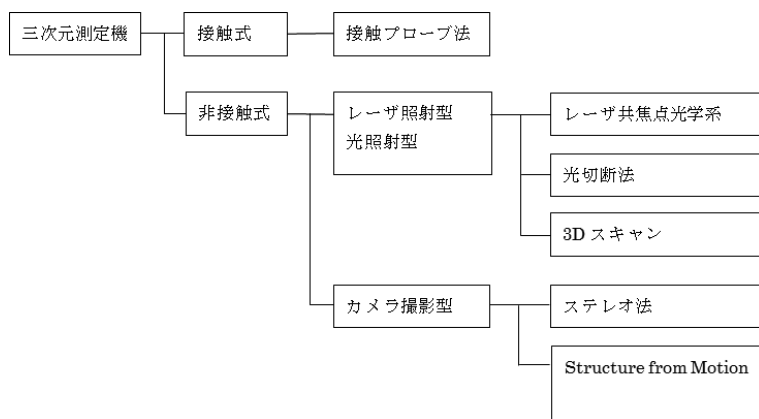


図 1 三次元測定機の種類

調整などに習熟を要する。一方、非接触式測定機は、試料に接触せず光学的に位置データが得られるため、急速に普及が進んでいる。

非接触式の三次元形状測定機の多くは光学式であり、試料の大きさによって装置を使い分ける必要がある。各形式の三次元形状測定機の例を表 1 に示す。

2.2 測定原理

本章では、表 1 に示した非接触三次元計測のうち、レーザ共焦点光学系および光切断法について測定原理を説明する。なお、3D スキャンおよび Structure from Motion については、26～29 ページおよび別号⁽¹⁾で既述しているため割愛する。

2.3 レーザ共焦点（コンフォーカル）光学系⁽²⁾

レーザ共焦点（コンフォーカル）光学系では、試料に均一に光を照射する光学顕微鏡と異なり、周辺からの散乱光を除外しながら得られるフォーカス画像のコントラストの強弱によって正確な高さ情報を得る。コンフォーカル系を用いたレーザ顕微鏡の原理を図 2 に示す。

コンフォーカル系を用いた顕微鏡は焦点からの光のみを検出する。破線で示すように、試料の観察箇所が対物レンズのフォーカス位置からずれると、全ての反射光がピンホールを通過することはできず、一部の反射光のみが検出器に入る。そのため、対物レンズのフォーカス位置からずれた像は観察されず、フォーカス位置だけの観察像のみ

表 1 非接触式三次元形状測定機の種類と適用例

方 式		精度 (繰返し精度)	測定範囲※	使用目的
レーザ（光） 照射型	レーザ共焦点光学系	～0.05 μm	～数mm	・摩耗試験による試料の減肉量の評価 ・腐食試験による試料の表面変化の評価
	光切断法	～1 μm	～75 mm	・損傷部品や腐食部品の断面プロファイルの取得 ・硬度測定 ・粗さ測定
	3Dスキャン	2 mm	～130 m	・タンクの真円度
カメラ撮影型	Structure from Motion	50 μm	～10 m	・大型溶接構造物の寸法計測

※カタログ標記例

が得られる。また、フォーカス位置を光軸方向に走査することで試料の三次元情報が得られ、対物レンズを高さ方向に駆動させ、最も反射光量の高いフォーカス位置を焦点として、高さ情報と反射光量を得ることができ、これにXY情報を加えることで、試料の三次元情報を得ることができる。

レーザ顕微鏡による三次元計測では、測定範囲が数mmであることから、適用できる試料の大きさは限られるが、測定精度が高いため、減肉が数 μm 程度しか進展しないような摩耗や腐食の定量評価には有効な装置である。

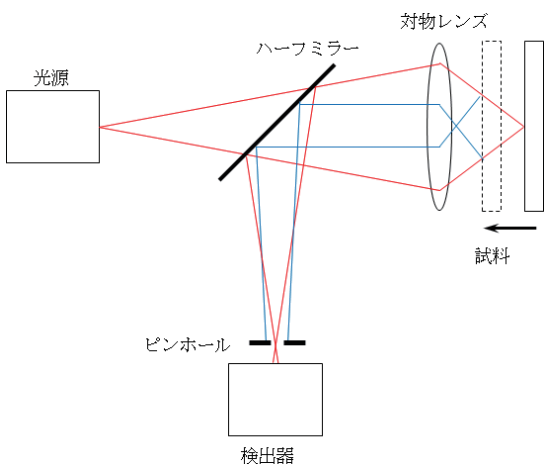


図2 レーザ共焦点光学系を用いた顕微鏡の原理⁽³⁾

2.4 光切断法⁽⁴⁾

光切断法による三次元測定では、光源からライン状の光を試料に照射し、反射光をカメラで撮影して画像処理することで三次元情報を得る。

図3、図4に当社が導入した光切断法のキーエンス社製三次元測定機の外観写真および原理を示す。光源より発せられたライン状の縞投影光は、投光レンズにより斜めから試料に照射される。試料の表面に高低差がある場合、試料に対して斜めから光を当てて生じる縞投影画像を真上からカメラで撮影すると、試料の高低に応じてひずみが生じる。また、試料の表面に高低差が無いとき、縞

投影光は点Oの位置に当たって見える。一方、対象物の表面形状に高さがあるとき、縞投影光は点Aの位置に当たって見える。あらかじめカメラ光軸に対して斜めから光を当てる角度が θ と決まっている場合、垂直な面に射影した照明光のゆがみ(OA間距離) d より、試料の高低差 h は、式(1)のように表される。これにXYの座標情報を加えることで、試料の三次元情報を得ることができる。

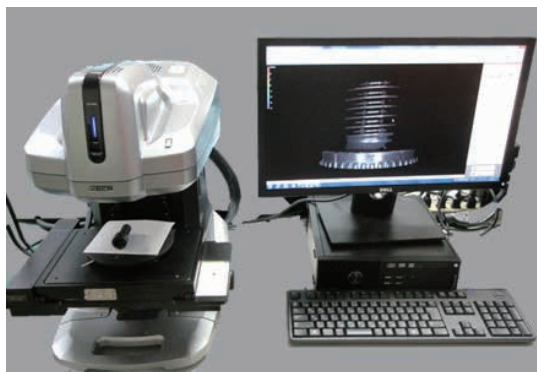
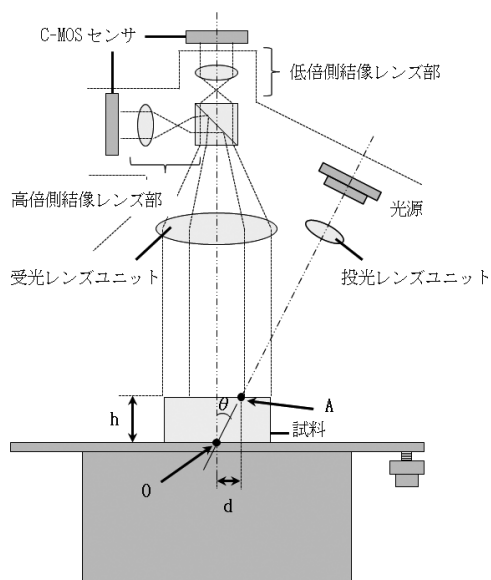


図3 光切断法による三次元測定機(キーエンス社製)



$$\text{試料の高低差 } h = \frac{d}{\tan\theta} \quad (1)$$

図4 光三次元測定機(光切断法)の原理

3. 光切断法の材料調査への適用例

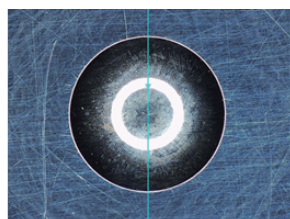
光切断法による三次元測定機は、表1に示すようにレーザ顕微鏡よりも測定精度は劣るものの、測定範囲がレーザ顕微鏡よりも広く（当社装置では75mm角）、広範囲の評価が可能である。また、短時間で三次元形状データと画像データの両方が取得可能であることから、摩耗や摩擦など形状変化によって生じる部品の損傷調査や点検などにも適用されている。以下に光切断法による三次元測定機の適用例を紹介する。

各種プラントや工場で機器や製品が損傷した場合には、材料表面にキズや打痕などの痕跡が残ることがある。その場合、損傷部の形状について、非接触式三次元形状測定機を適用することで、表面の状態を維持したまま損傷部の詳細データを取得することができる。図5はブリネル硬さの標準試料の表面形状（測定後）である。損傷部に残ったキズや打痕など複雑な形状でもこれと同様に、形状や深さを明らかにすることで、異物の混入や摩擦の有無など、損傷原因を特定することができる。

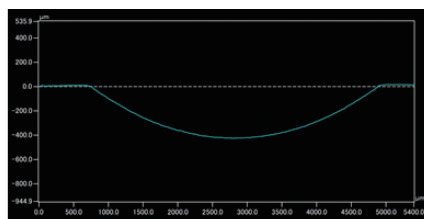
図6は、大型ポンプ用シャフト表面の測定結

果を示す。シャフトの腐食が軽微な場合や、表面全体が均一に腐食している場合（全面腐食）には、ノギスでシャフト径を測定し減肉量を容易に推算できるが、著しく腐食が進展している場合や表面が不均一に腐食された状態（部分腐食）では、ノギスで正確に径を測定できず、減肉量を推算できない。このような場合には、非接触式の三次元測定機によりシャフト腐食部の断面プロファイルおよび3Dイメージを取得することで詳細な形状を把握でき、減肉量を正確に推算でき、次回定期検査時に比較のためのデータとして活用することができる。

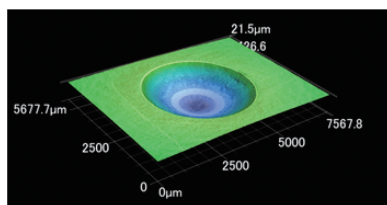
図7は使用済みボルト表面の腐食状況を調査した結果を示す。ボルトやナットのねじ底は狭部であることから触針式（接触式）の三次元測定機による形状測定が難しい。これまではボルトのねじ山の形状やピッチを調べる際には、ボルトを軸方向に切断して断面を観察してきた。しかし、この方法では切断した断面（方位）でしか、形状やピッチを測定することができない。そこで非接触式の三次元測定機を適用することで、容易に各方位の断面プロファイルを取得することができる。また、健全なボルトと腐食したボルトの断面プロ



ブリネル硬さ計測によって形成くぼみの外観



くぼみの断面プロファイル



ブリネル硬さ測定後の3Dイメージ

図5 ブリネル硬さの標準試料表面形状測定例（キズや打痕など複雑な形状にも対応可能）

ファイルと比較し、ボルトの健全性を評価することもできる。

非接触式の三次元測定機は、表面粗さ測定にも適用できる。図8は粗さ測定用の標準試料に非接触式の三次元測定機を適用した例である。同測定では一度に広範囲の三次元データを取得するこ

とができ、測定範囲内であれば繰り返しラインを指定して、粗さを取得することができる。また非接触式であることから、柔らかい材料の表面粗さ測定が可能となり、柔らかい素材でできた転写材の表面粗さ測定に使用される。

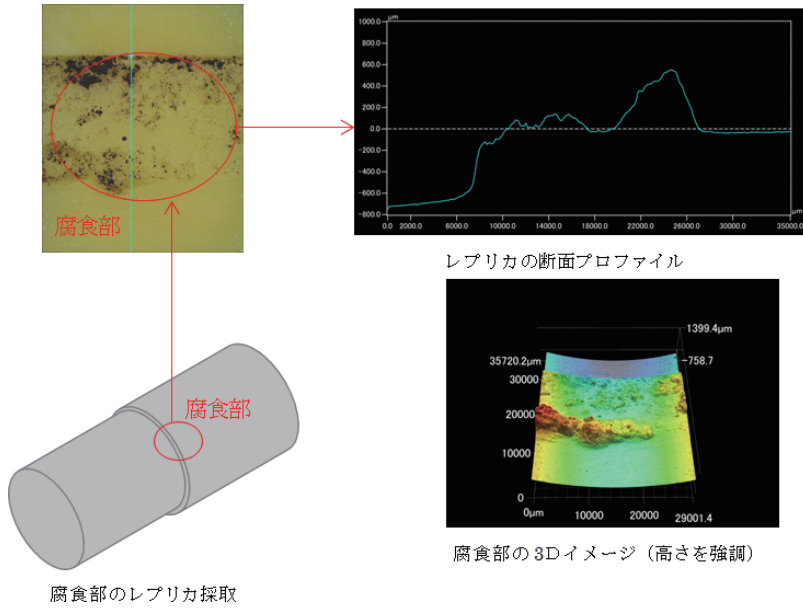


図6 大型ポンプ用シャフトの腐食状況の調査例

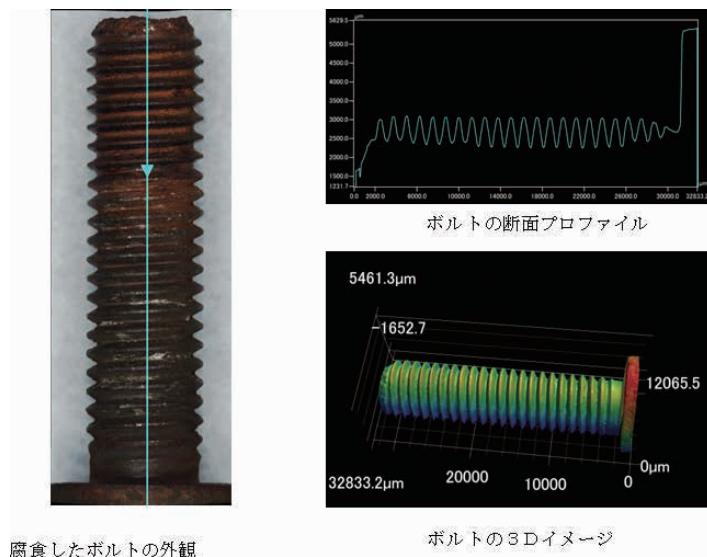


図7 腐食したボルトの健全性評価

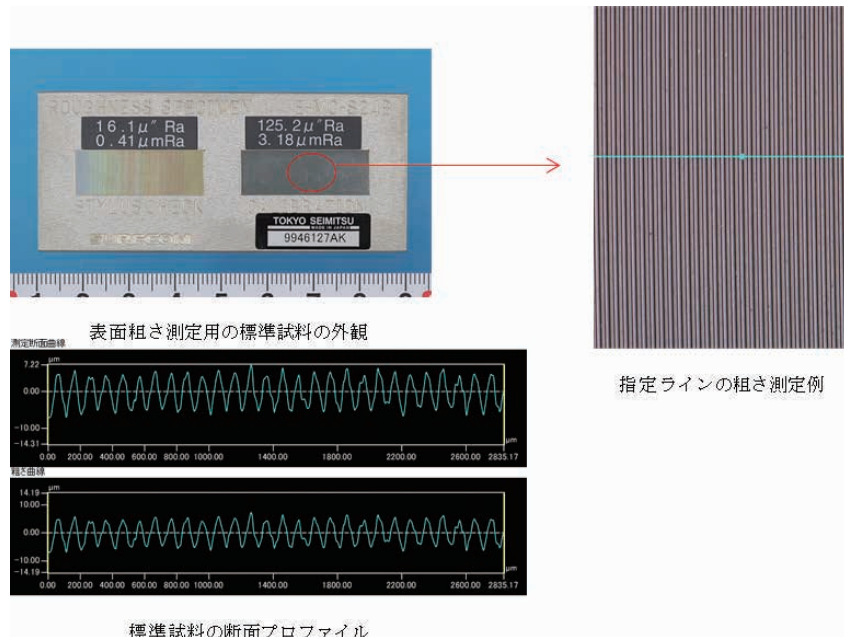


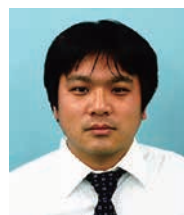
図 8 表面粗さ測定例

4. 今後の展開

当社では、試料の腐食状況の確認や粗さ測定に、光切断法による三次元計測を用いている。今後は、同測定によって得られる断面プロフィールや3Dイメージを、損傷品の破面や損傷部に適用し、よりわかりやすい調査報告と対策の提案を行う。

参考文献

- (1) 軽部、長坂：デジタルカメラによる三次元形状計測技術、IIC REVIEW、No.30、2003/10、pp.24-28
- (2) M. Minsky：U.S. Patent, No.3013467, 1961
- (3) 居波渉：共焦点型偏光顕微鏡の三次元結像特性に関する研究、静岡大学博士論文、2003、pp.1-107
- (4) キーエンス製 ワンショット 3D 形状測定機 ユーザーズマニュアル



計測事業部
材料試験部
課長
三谷 幸寛

TEL. 045-791-3519
FAX. 045-791-3542