

非接触測定技術の精密部品への適用

Application of Non-contact Measurement Technology to Precision Parts

高 村 繁*
Shigeru TAKAMURA

要 旨

部品の精度解析において、CADデータを用いた三次元形状評価には非接触測定機を用いてきた。最近、歯車などの精密部品でも三次元形状評価のニーズがあり、非接触測定機を使って測定を試みてきた。しかし、従来から使用している光学式非接触測定機には、さまざまな光学的な課題がある。精密部品に適用するには、これらの課題を克服する必要がある。新たな測定機の開発が必要となった。

種々の光学式センサのテスト測定をおこない、精密部品の非接触測定での課題を明確にし、最適な光学式センサを選定した。それらの結果、対象部品の形状評価に必要な精度を得られる2種類のセンサを装備し、光学式センサの弱点をカバーするための多軸機構を持つ測定機を完成した。

最後に一例として、開発機で測定したデータの活用事例を紹介する。

ABSTRACT

A non-contact measurement system has been used for the precision analysis of parts in 3D shape evaluation employing CAD data. In recent years, there have been attempts to utilize non-contact measurement systems to respond to demands for 3D shape evaluations of precision parts such as gears. However, there are various optical issues with conventional optical non-contact measurement systems. These issues had to be addressed for application to precision parts, necessitating the development of a new measurement system.

The sensor testing were conducted using a variety of optical sensors to clarify the specific issues arising in the measurement of precision parts with non-contact measurement systems, enabling the optimum optical sensors to be selected. The newly developed system employs two sensors, which enables the achievement of the level of accuracy required for 3D shape evaluation of parts. A multi-axis mechanism which compensates for the weak points of the optical sensors completes the new system.

This paper will demonstrate examples of the use of data measured by the developed measurement system.

1. まえがき

現在の自動車は精密機械であり、高性能・高品質が求められている。これを支える部品においても高精度な形状計測が必要となった。精度を保証された測定値を得るには、接触式三次元測定機(CMM: Coordinate Measuring Machine)を用いることが確実な方法である。CMMは幾何寸法を測定するには種々の機能が用意されており有効な道具である。しかし、複雑な面形状を測定するには段取りから測定作業までに多くの手順を踏まなくてはならず、短時間で多くの形状情報を得ることは難しい。

*栃木研究所

非接触三次元測定は点群データによる大量の情報を短時間で得られる利点があり、以前より活用を進めてきた。しかし、この利点を生かし高精度な測定値を得るには適正な使い方をしなければならない。

本稿では、光学式センサを用いた非接触測定技術と活用の現状を紹介する。

2. 精密部品に求められる測定精度の位置付け

Fig. 1では、非接触センサの特性や測定機の性能から測定精度と測定レンジで、計測ニーズに適した測定機が分類

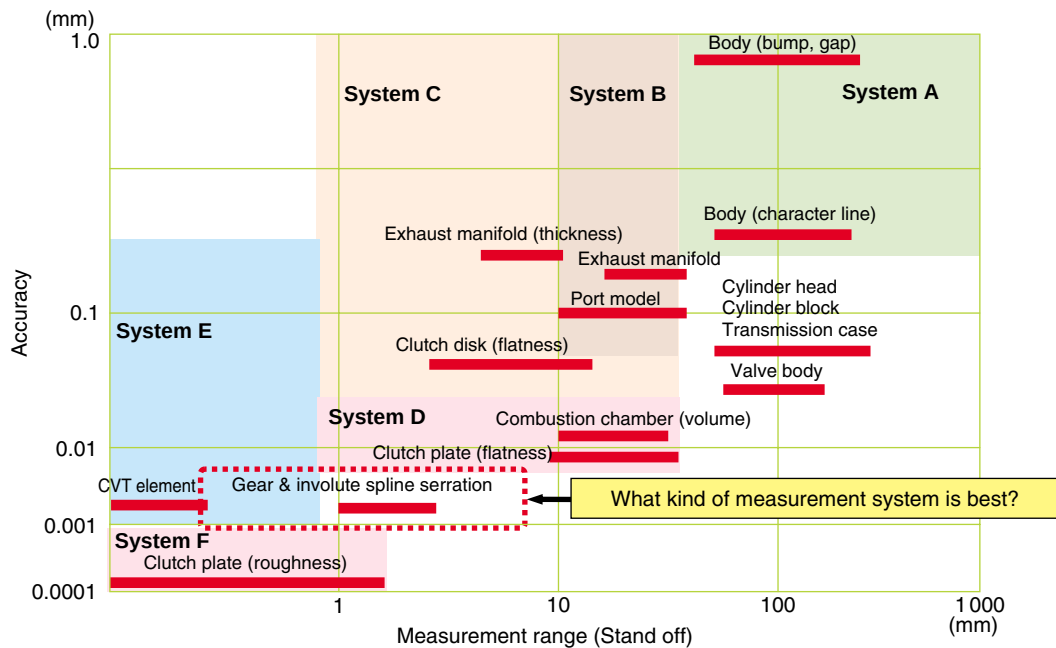


Fig. 1 Classification of non-contact measurement systems

される。しかし、図中の点線枠で示すように歯車などの精密部品の形状測定には、測定レンジが 1 – 10mm、精度が 0.005mm 程度の計測が必要であり、適切な測定機がなかった。

3. 従来の光学式非接触三次元測定の課題

従来の非接触測定機には以下のような課題がある。

- (1) 精密加工部品に対して測定精度が不足している。
- (2) パウダを塗布しなければ測定できない。
 - ・ 光沢部ではハレーションエラーや環境光の写りこみにより正確な測定値が得られない。
 - ・ 黒色部はセンサが照射した光が吸収され検出ができず正確な測定値が得られない。
- (3) 光の届かない狭深部は測定が不可能である。
多数の方向から測定を試みるが、奥深い形状においては計測光が届かず検出不可能である。

これらの課題がある部品を Fig. 2 に示す。

このような課題を解決するために、自動車部品の中では精密加工部品である歯車を題材に非接触測定機の研究開発を始めた。



Fig. 2 Parts with the issues

4. 歯車部品での課題

歯車部品では、形状的特徴(Fig. 3)から予測される難易度の高い課題あり、以下のように整理した。

- (1) 歯部形状：多くの凹凸による影となる部分が存在するため、光の届かない箇所では測定値が得られない。
- (2) 部品表面：ほとんどが切断面・研削面であり、このような光沢面では光を反射する。
- (3) 歯底形状：R部では計測光が素材表面で多重反射を起こし、測定エラーが発生する。

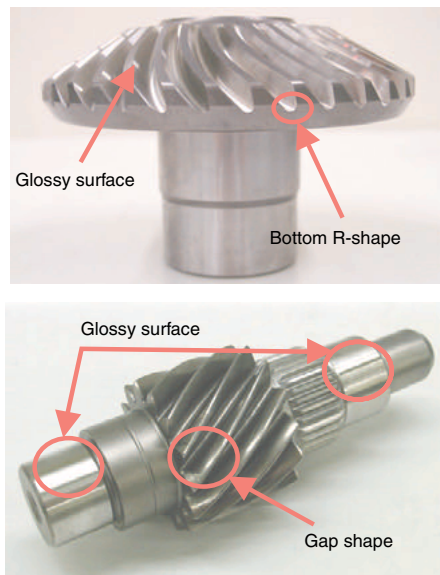


Fig. 3 Shape and surface of gear parts

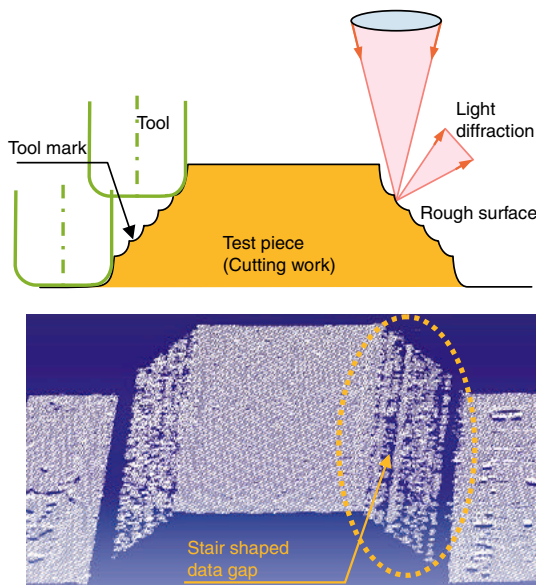


Fig. 4 Data gap caused by optical properties

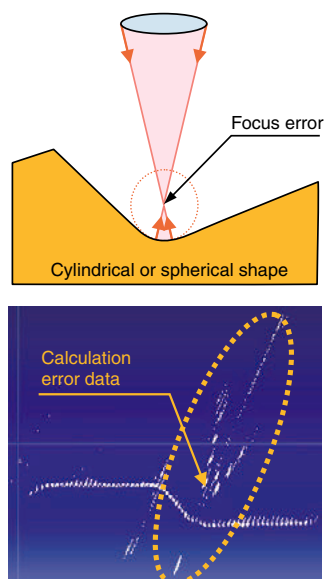


Fig. 5 Data error caused by optical properties

歯車部品の形状測定では、どのような測定値が得られるかを検証するため、テストピースを製作し実験をおこなった。

Fig. 4 はツールマークのような微細な凹凸面形状で計測光に対する角度によっては完全反射となる部分があり、測定値の欠落がツールマークに沿って階段状に現れた結果である。

Fig. 5 は光沢のある円筒面上や球面上で、計測反射光が形状表面から離れたところで焦点を結ぶため、本来ありえない位置に測定値が現れた結果である。

いずれも計測対象面の光沢が原因で発生した現象である。従来は光沢面に反射防止のパウダを塗布していたが、精密部品においては、塗膜の厚さばらつきが付加されるため、測定値は対象物の実体精度とは異なる。

また、測定した部品でその後実機テストをおこなう場合、パウダの粒子が摺動面などに残存し性能に影響を及ぼすことになる。これは破壊検査と同様に測定後の部品の使用を不可能とする。

5. 精密部品に適した光学式非接触センサ

実際の歯車部品を使ってさまざまな光学式非接触センサで実験をおこなった中から、有効な結果が得られた3種のセンサの特徴を以下に述べる (Fig. 6)。

(1) Conoscopic coaxial laser sensor⁽¹⁾

- ・ 長所: 形状に対して適正な方向で測定すれば、光沢のある部品でもエラーの少ない測定値が得られる。
- ・ 短所: スキャニング動作が必要であり、形状測定には時間がかかる。

(2) Confocal multi-beam sensor⁽²⁾

- ・ 長所: 光軸方向の分解能が高く、光軸に垂直な面では高精度の測定値が得られる (分解能: $0.2\mu\text{m}$)。
- ・ 短所: 1ショットの測定領域が狭いため、形状測定には時間がかかる。 ($6\text{mm} \times 6\text{mm}$)

(3) Pattern projection 3D sensor⁽³⁾

- ・ 長所: 1ショットの測定領域が広いので、一度に広範囲の測定値が得られる。 ($30\text{mm} \times 40\text{mm}$)
- ・ 短所: 影となる部分ではパターンが投影されないため測定値が得られない。

光沢面ではパターンが投影されず反射してしまうため測定値が得られない。

6. 非接触測定機の開発

以上の実験結果から、センサの長所を活かすには、ワーク形状に対して適正な方向でセンサの姿勢を保持できる機構が必要である。

また、歯車部品では回転軸を基準として評価するため、セ

ンサ単体で測定した形状データだけでは、幾何基準を割り出す情報が足りない。従って、ワークの幾何基準を割出すための軸円筒面や端面も同一座標系で測定値が得られる機構を持つシステムが必要である。測定値の精度要件は、歯車強度解析の活用ニーズがあることから、解析するソフト上での形状再現性を考慮し $5\text{ }\mu\text{m}$ 程度は必要である。これらの要件を満足するために新たな測定機を開発することにした。

搭載するセンサは、精度・光沢・凹凸形状に対して有利なことから(1)と(2)のセンサを採用した。センサ(3)については、投影パターンが向き合う歯面間で多重反射し測定エラーが発生することがあり採用しなかった。

測定機構は、センサの多様な姿勢を再現できる多軸機構とした。

結果、2種類のセンサを搭載し、可動5軸を有する仕様の測定機を株式会社オプトンと共同開発した。

従来の接触式測定機で形状測定データを得るには、幾何基準を測定しワーク座標系を校正した上で、トレース測定をおこなう。

トレース測定には、開始点と終了点を指示すれば、測定システムが形状を予測計算しながら自動追従する方法や事前に基準形状をノミナルデータとして与え測定する方法などがある。いずれにしても、膨大な時間と手間が掛かり実用的ではない。このような手順を踏まなくても簡便に精密な形状測定データが得られることが開発機の特徴である。

Fig. 7 に従来の接触式測定機と開発機の比較を示す。

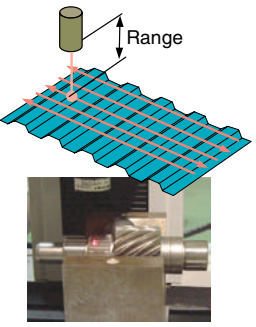
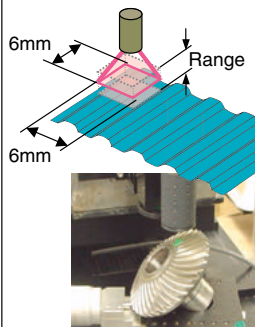
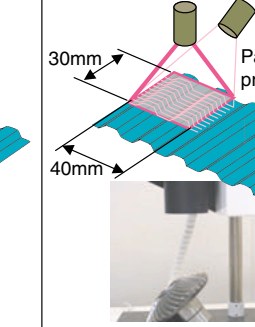
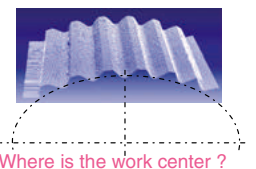
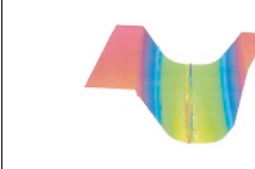
	(1) Conoscopic coaxial laser sensor	(2) Confocal multi-beam sensor	(3) Pattern projection 3D sensor
Type of optical 3D sensor			
Measurement data	 Where is the work center ?		 Where is the work center ?

Fig. 6 Types of optical measurement sensor

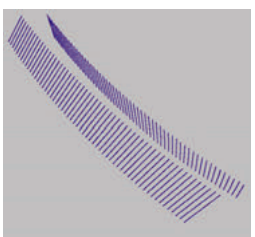
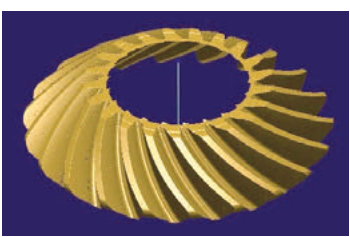
	Conventional system	Newly developed system
Measurement system	 Contact measurement system	 Non-contact measurement system
Measurement data	 Grid point data	 High-density point cloud data

Fig. 7 Conventional and newly developed measurement systems

7. 実測値の精度

開発機の測定精度を検証するため、従来の接触式測定の測定値と比較した。接触式歯車測定機の歯面測定値と非接触三次元測定による歯面形状測定値を同一基準上で重ね合わせ、そのデータ間の差をもって測定精度を検証した。手順は、非接触測定点群データで作成した3Dモデル上に歯車の歯面測定用ノミナルデータラインを構成し、このデータラインに沿って接触式歯車測定機のプロープをトレースさせ測定値を得た(Fig. 8)。

この測定値と元になった測定点群データと歯面の法線方向に対する差異を求めたところ、 $5\mu\text{m}$ 以内であった。歯丈方向の各トレースライン上の差分をグラフに表した歯形線図を Fig. 9 に示す。



Fig. 8 Nominal data line generated on reverse actual model

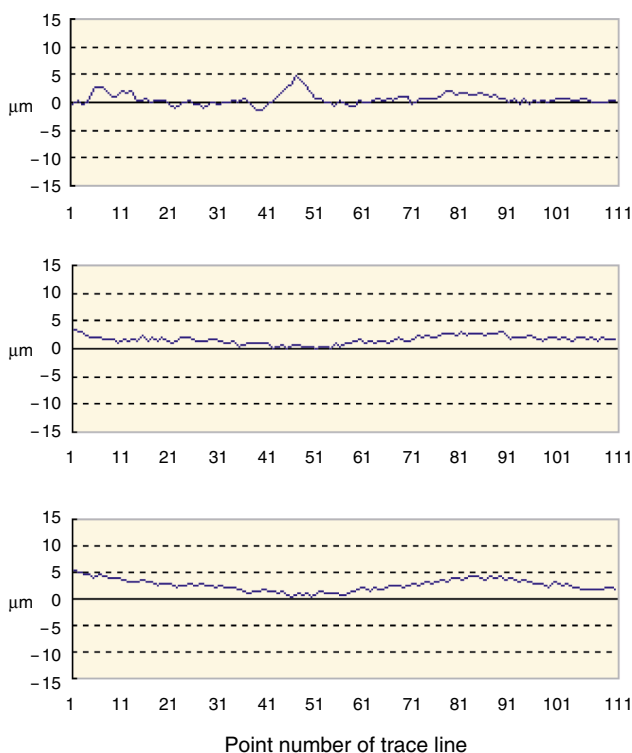


Fig. 9 Difference between measurement data

8. 活用事例

非接触三次元測定で得られた高精度で高密度な測定データには、ワークの素性に関する膨大な情報が含まれている。これらの情報の活用方法は数多くあると考えられる。

ここでは、歯車部品を測定した測定点群データから部品形状に限りなく忠実な3Dモデル(実機モデル)を作成し、CAE解析を実施し、設計仕様検討を試行した例を Fig. 10 に示す。

自動車開発においては、多機種の試作車を数多く製作し実走テストをおこなう。開発初期段階では、試作車は製作せず部品のみを製作し仕様検討をおこなう。この時点で性能の良し悪しを予測できれば、試作車によるテスト回数を減らすことができ、その結果、開発時間とコストの削減も見込める。

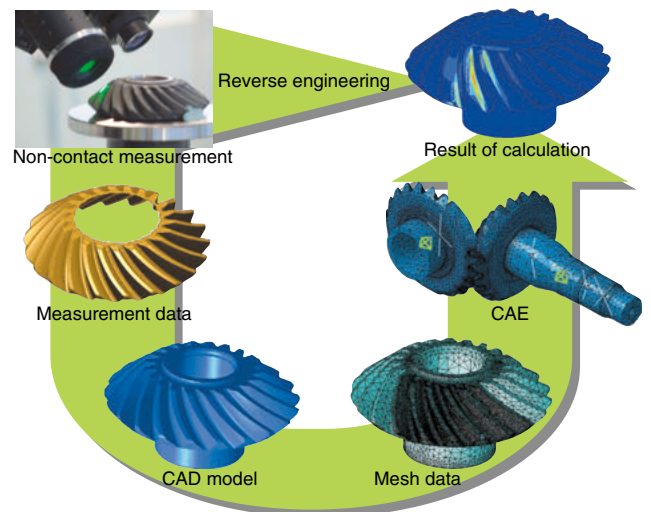


Fig. 10 Reverse engineering

9. まとめ

以上、精密部品計測に応用した結果、非接触三次元測定が適用可能であることを証明した。得られた効果と今後の課題を以下にまとめる。

- (1) 対象物を傷つけることなく非破壊測定できることから、接触式測定ができなかった精密部品の品質管理や解析が可能になる。
- (2) 高密度で大量の測定値により、点や線では評価や解析しきれない品質不具合に対して、面単位の形状評価ができる。
- (3) 開発機は歯車のような難易度の高い複雑な形状部品の測定を可能としたことから、歯車以外の精密部品にも活用できる。
- (4) 最近の三次元CADは、測定点群データから作成するポリゴンデータを扱えるため、測定結果はリバースエンジニアリング

ニアリングにより CAM/CAE でも利用可能である。

- (5) 実測値の精度は、歯車の噛合いなどを評価するにはまだ不足である。よって、今後も測定精度向上への取組みを進める。

現在の非接触測定技術は過渡期であるが、今後さまざまな分野で活用され、新たな技術展開が生まれることを期待する。また、本稿がそれらの助力となれば幸いである。

参考文献

- (1) <http://www.ophirjapan.co.jp/>
- (2) 石原 満宏：非走査マルチビーム共焦点撮像系による表面形状計測，第 28 回光波センシング技術研究会講演論文集，p.21-28(2001)
- (3) 吉澤 徹：パターン投影による三次元計測，光三次元計測，新技術コミュニケーションズ，p77-99(1998)

■著 者■



高村 繁