

# 航空宇宙産業用おねじ形状測定装置

有限会社 丸之内マシーナリ

代表取締役 古川 雅 祥

(有)丸之内マシーナリ 代表取締役 古川 雅 祥  
(有)丸之内マシーナリ 工場長 奥田 章 夫

## はじめに

産業の塩と呼ばれる「ねじ」は航空機でも、エンジン部品、降着装置、油圧機器、座席、内装品などでたくさん使用されている。航空機産業は規模が大きく、使用するねじが多様で量が多いことから、ねじ市場に大きな影響を与える重要な産業となっている。航空宇宙産業や防衛産業において使用されるねじ製品は、技術規格と厳しい安全規格の遵守が求められる（ジェトロ、2010）。抜き取り検査ではなく基本的に全数検査であり、特殊な技術を用いた検査も実施されている（日本政策金融公庫、2011）。ねじ1個でも不良や不具合があると大きな事故につながるため、生産したロットは全数検査を行い、万全の保障が必要である。昨今、市場からは、競争激化による製品単価の低廉化に相反して厳格な高品質化を求められ、その傾向は、今後ますます加速することが予想される。そのため、短時間で容易に全数検査に対応できる測定装置の開発、提供が期待されている。

## 開発のねらい

既存の三針測定、接触式輪郭形状測定機、万能投影機などの方法は何れも、手間と時間、測定に関する相応の知見と熟練が求められ、全数検査に適しているとは言い難い。

そこで、画像処理で解析する方法を基礎にして、非接触の投影輪郭形状測定機でありながら

も、接触式輪郭形状測定機と同等の正確さで、誰でも、簡単に、短い時間でおねじの形状を決定づける要素である外径、谷径、有効径、ピッチの測定が行え、全数検査が可能な測定装置として活用できることを、本装置開発のねらいとした。

## 装置の概要

光軸が垂直方向の投影方法では、治具で遮られた部分が投影できないうえ、ガラステーブルの汚れや破損が生じやすく、取り扱いに注意する必要がある。本装置は、図1に示す水平光軸で投影を行う構成を採用した。

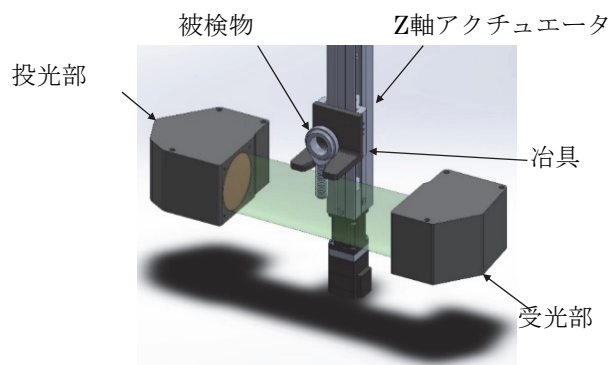


図1 水平光軸で投影を行う構成

被検物を治具に吊るすことで、おねじの全体像が投影できる。測定位置を軸方向に変えるときは、Z軸アクチュエータにより被検物が上下に移動する。光軸を水平方向に固定配置することにより、レンズ面が汚れにくい利点がある。

既存の接触式輪郭形状測定機では、芯出し固定に10分、トレースに5分、解析に30分を要し、固定位置を90°回転させて円周方向2箇所

おける全ての測定を完了するまでに 90 分を必要とする。それに対し本装置は、軸方向 3 箇所×円周方向 2 箇所の合計 6 箇所における、外径、谷径、有効径、ピッチの測定を僅か 30 秒で行い、測定と同時に結果を Excel データとして PC に自動保存する。さらに、芯出し固定などの準備作業も不要なので、測定するのに熟練と手間を必要としない。おねじ形状の測定を簡単な操作と短い時間で行えることを実現したことが、本装置の一番の特徴である。図 2 に本装置の外観と治具にセットした被検物を示す。



図2 本装置の外観と治具にセットした被検物

### 技術上の特徴

図 3 に本装置の測定原理を示す。

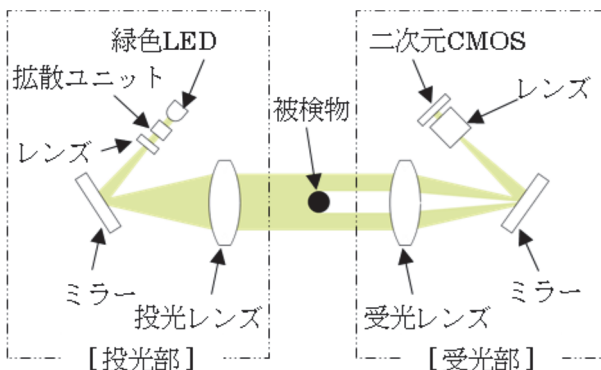


図3 測定原理

本装置の二次元投影センサーは、LED を光源とする投光部と、CMOS を撮像素子とする受光部により構成される。緑色 LED・テレセントリックレンズを用いた光学系で、均一な平行光を被検物に照射し、二次元 CMOS 上で得られた

明暗のエッジを検出して、多点を測定し、画像処理で解析を行う。

投影輪郭による測定を行う上で課題となるのは、螺旋形状を持つ物体の場合に、投影と軸断面では輪郭形状が異なるという点である。輪郭形状の違いが顕著に現れるのは、リード角が大きい場合で、極端な例であるスクリーコンベア用スクリー羽根について、図 4 に三次元モデルを示し、図 5 にその投影輪郭と軸断面輪郭を比較する。スクリー羽根の投影輪郭（2 点鎖線）は軸断面輪郭（実線）の外側に大きく膨らむことになる。

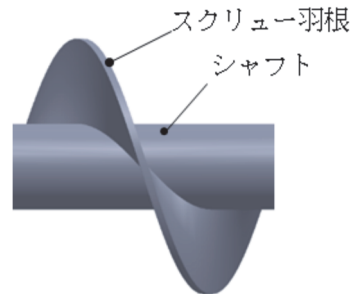


図4 スクリューコンベア用スクリー羽根の三次元モデル

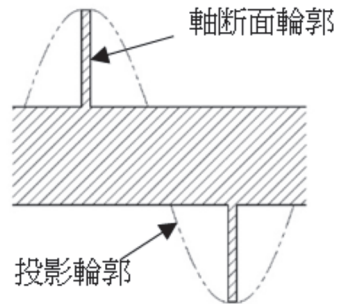


図5 投影輪郭と軸断面輪郭の比較

被検物がねじの場合、リード角は小さくとも、スクリー羽根と同様に螺旋形状なので、幾分か螺旋の影響を受けている。したがって、基準山形（軸線を含む断面において、おねじとめねじが共有する理論上の寸法と角度とで定義される理論上のねじ山形状）や設計山形（基準山形に対して、山の頂および谷底に丸みまたは平たん形状を付与したねじ山形状）を投影輪郭から求めるために、投影輪郭におけるねじ山形状と螺旋の関係を精査して、幾何学的な観点から補正方法

の検討を行った。

おねじの場合も、図4、5のスクリュー羽根の例と同様に、螺旋の影響を受けて投影輪郭と軸断面輪郭では形状が異なる。図6におねじのねじ山の三次元モデル、図7にその軸断面輪郭と投影輪郭を示す。スクリュー羽根に比べて僅かではあるが、おねじのねじ山においても、投影輪郭のフランク（2点鎖線）が軸断面輪郭（実線）のフランクの外側に膨らんでいるのが分かる。

また、フランクが膨らむことで、フランクの延長線同士がなす仮想交点が径方向外側に移動している。投影によりフランクが膨らむことで仮想交点が移動する距離を  $D$  で表すと、ねじ山の仮想交点径測定値は、軸断面上の真の値と比べて  $2D$  だけ大きくなる。また、ねじ溝の仮想交点径についても同様であると考えられる。

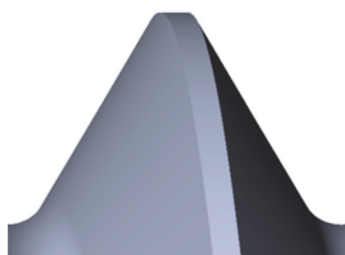


図6 おねじのねじ山の三次元モデル

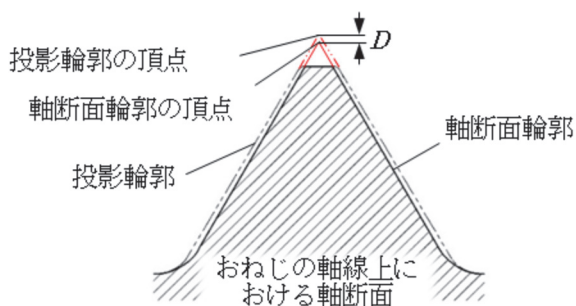


図7 軸断面輪郭と投影輪郭の比較

山幅が膨らんだ投影輪郭から有効径を求めると、実際の軸断面輪郭のものに比べて大きくなる。そこで、投影輪郭のねじ山の仮想交点と軸断面のねじ山の仮想交点の距離  $D$  を求め、 $2D$  を補正值として投影輪郭の有効径から減算し、軸断面における真の有効径に近似させるため、次式を導出した。

$$D = \frac{\sqrt{3}P}{2\pi} \sin^{-1} \left( \frac{\sqrt{3}P}{d\pi} \right) - \frac{d}{2} \left\{ 1 - \cos \left[ \sin^{-1} \left( \frac{\sqrt{3}P}{d\pi} \right) \right] \right\} \quad \dots(1)$$

航空宇宙用によく用いられている規格のおねじ UNJF7/16-20-3A ( $d=11.112$  mm,  $P=1.27$  mm) の有効径補正值  $2D$  を式(1)から計算すると、次の値となる。

$$2D = \frac{\sqrt{3} \times 1.27}{\pi} \sin^{-1} \left( \frac{\sqrt{3} \times 1.27}{11.112\pi} \right) - 11.112 \left\{ 1 - \cos \left[ \sin^{-1} \left( \frac{\sqrt{3} \times 1.27}{11.112\pi} \right) \right] \right\} = 0.0221 \text{ (mm)} \quad \dots(2)$$

接触式輪郭形状測定機を用いて軸断面輪郭を測定して得られる、外径  $d$ 、谷径  $d_1$ 、有効径  $d_2$ 、ピッチ  $P$  の値を真値として、本装置を用いて投影輪郭から得られる値と比較し、本装置の測定の正確さの検証を行った。

図8に試験片の測定位置、表1に試験片の諸元を示す。測定を行う位置は、ねじ部の軸方向の先端から、先、中、元の3箇所とし、さらに円周方向の断面として、0-6面と3-9面の互いに直行する2方向を設定する。

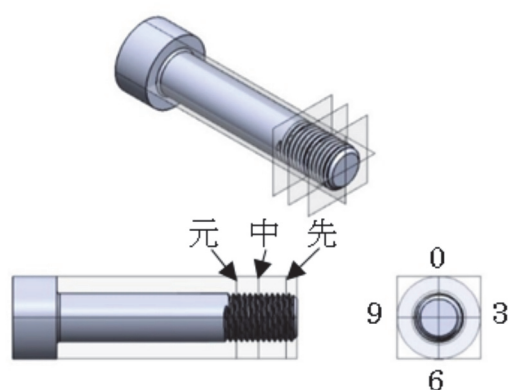


図8 試験片の測定位置

表1 試験片の諸元

型式	精度等級	公差範囲	材質
UNJF7/16-3A	3A	0.079 mm	Ti-6Al-4V

試験片の規格値 (ISO3161, 1999) を表 2 に示す。また、接触式輪郭形状測定機と本装置で測定した結果を表 3 に示す。表 3 は 3-9 面の元位置の測定結果を示し、下段には、式 (1) で算出した値 (2) で補正を行った有効径  $d_2$  を示す。

表 2 試験片の規格値 [mm]

	外径 $d$	谷径 $d_1$	ピッチ $P$	有効径 $d_2$
最大	11.112	9.644	1.27	10.287
最小	10.907	9.489		10.208

表 3 測定結果 (3-9 面元位置) [mm]

測定方法	外径 $d$	谷径 $d_1$	ピッチ $P$	有効径 $d_2$
接触式輪郭形状測定機	10.997	9.534	1.273	10.235
本装置 (生)	10.994	9.537	1.271	10.259
補正後の値	-	-	-	10.237

接触式輪郭形状測定機の測定結果と本装置の測定結果を比較すると、外径  $d$ 、谷径  $d_1$  ともに差は 0.003mm 以下の僅差であった。

有効径  $d_2$  に関しては、上段の接触式輪郭形状測定機のデータと比べ、中段の本装置の生データは 0.024mm 大きく、外径および谷径の場合の差より一桁大きい差が生じた。この差は試験片の公差範囲 0.079mm (SAE International, 2018) に対して、決して看過できる値ではない。半径にすれば一般的なめっきの膜厚分 (10 $\mu$ m 程度) に相当する。しかし、補正を行った下段の有効径  $d_2$  では、接触式輪郭形状測定機の値との差が 0.002mm となり、良い一致が得られた。

このことから、本補正方法は、投影輪郭から求めた有効径の誤差を低減する方法として有効であると認められる。

以上の結果から、開発したおねじ形状測定装置および補正方法は、既存の接触式輪郭形状測定機と同等の正確さで、おねじの外径、谷径、有

効径、ピッチを測定できる能力を有することを確認できた。

## 実用上の効果

本装置は、接触式輪郭測定機と同等の測定の正確さで、誰でも、簡単に、短い時間でおねじの形状要素の測定を行え、全数検査用として活用が可能である。さらに、三角ねじであれば、メートルねじ、インチねじを問わず、エネルギー、鉄道、医療機器などを含め、一般用途のものも対応可能である。一方、樹脂などの柔らかいものは接触式輪郭測定機では不適であるが、本装置は非接触なので被検物を傷付けずに測定できる。

本装置の導入により、抜き取り検査から全数検査への移行が進み、工程内検査で万全の品質保証が可能となり、高品質で安定的な製造プロセスを確立でき、製品は価格的にも性能的にも優位性が高まるので、収益性は大きく向上すると期待できる。

## 知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

日本国特許第 6372906 号

名称：測定装置

概要：頭部および頭部から伸びる延伸部を備えるネジ等の被測定物の測定に際し、作業性および汎用性に優れた測定装置

## むすび

本装置の開発は、平成 28 年度の和歌山県先駆的産業技術研究開発支援事業の 3 年間にわたる補助金の助成により遂行することができた。

今後は、製品評価技術基盤機構 (JCSS) などの公的機関の認定を受けるとともに、航空宇宙用途のおねじの全数検査が可能な測定装置として活用されるよう、働きかけていきたい。