

# 精密穴検査用アシストツールの開発

栗毛野裕太<sup>\*</sup>， 谷山清吾<sup>\*\*</sup>， 牟禮雄二<sup>\*\*\*</sup>， 野田太一<sup>\*\*\*\*</sup>， 徳永佑太<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## Development of an Assist Tool for Inspection of Precise Holes

Yuta KURIGENO, Seigo TANIYAMA, Yuji MURE, Taichi NODA and Yuta TOKUNAGA

本研究は、高精度に加工された穴の内径検査（以下、精密穴検査）で多用されるピンゲージについて、精密測定評価および挿入力測定試験を行い、精密穴検査における適切な挿入力を検討した。また、精密穴検査時の挿入力および傾きが取得可能なアシストツールを開発した。このアシストツールによって検査者を補助することができるため、より効率的な精密穴検査が期待できる。

**Keyword** : 穴検査, ピンゲージ, はめあい公差, 挿入力

### 1. 緒 言

多くの機械部品には、穴あけ加工が施されているが、それらの一部は機能性を有する精密穴であり、様々な用途で使用される。例えば、流体を噴出するノズルや真空チャックの吸着穴、金型に代表されるような軸部品とのはめあい用途の穴等に使用される。精密穴は厳しい寸法公差や幾何公差が指示されており、加工は当然のこと検査でも高い信頼性が要求される。

生産現場における精密穴検査では、ピンゲージ等が多用される。ここでのピンゲージは、穴の寸法や形状の数値そのものを求めるのではなく、その実寸法が許容される最大の寸法である「最大許容寸法」と、許容される最小の寸法である「最小許容寸法」の間、すなわち寸法公差の範囲内にあるかどうかを検査するためのゲージであり、「最大許容寸法」と「最小許容寸法」の2組の寸法の異なるゲージを併用して検査する<sup>1)</sup>。最小許容寸法のゲージを「通り」、最大許容寸法のゲージを「止り」と呼ぶ。図1に精密穴検査の模式図を示す。

検査者が検査対象の穴に各ピンゲージをそれぞれ手で

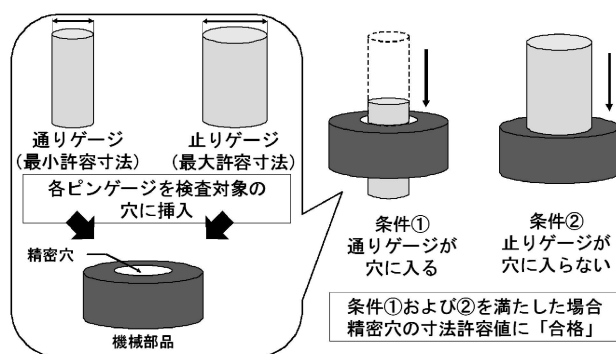


図1 精密穴検査の模式図

挿入し、「通りのピンゲージが検査対象穴に入る（通る）」かつ「止りのピンゲージが検査対象穴に入らない（止る）」という2つの条件を満たした場合に「合格」と判定し、それ以外の場合には「不合格」と判定する。

本検査は、実際に製品の穴に対して、精密に加工されたピンゲージを挿入するため、直径だけでなく穴の形状や曲がり等の異常を含めた検査が可能となり、単純だが、効果的である。

しかし、例えば検査対象穴が精密に加工されたもので、公差幅が狭い場合、本来であれば通るべき穴に対して、ピンゲージが傾きうまく挿入されない、あるいは通るべきでない穴に対してピンゲージが力加減次第で挿入されてしまうといった不具合が生じる。これらの不具合には、作業員の熟練度や疲労度が大きく影響する。さらに、測定物が軟質な材質の場合には、検査時のピンゲージの挿入力によって製品を傷つける恐れがあり、課題となっている。

そこで本報では、ピンゲージを用いた精密穴検査を対象とし、精密穴検査における適切な挿入力を検討するとともに、検査時の挿入力や傾き、検査者のツールの動かし方等を取得し検知することで、作業員の熟練度や疲労度に依存せずに、これらの問題を解決することが可能なアシストツールの開発を行ったので報告する。

### 2. 実験内容

#### 2.1 実験装置及び実験方法

精密穴検査における適正なピンゲージの挿入力を検証するため、サイズ（呼び径）の明確なリングゲージとピンゲージを用いて、リングゲージ半径とピンゲージ半径の寸法差（以下、クリアランス）と挿入力の関係を明確にする実験を行った。クリアランスの模式図を図2に示す。

\* 生産技術部（現 産業立地課） \*\*\*\* 鹿児島精機㈱

\*\* 生産技術部

\*\*\* 生産技術部（現 研究主幹）

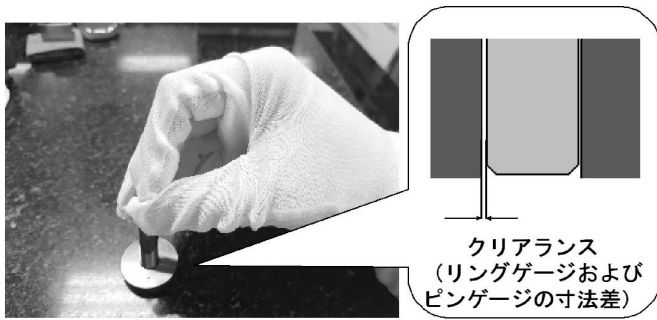
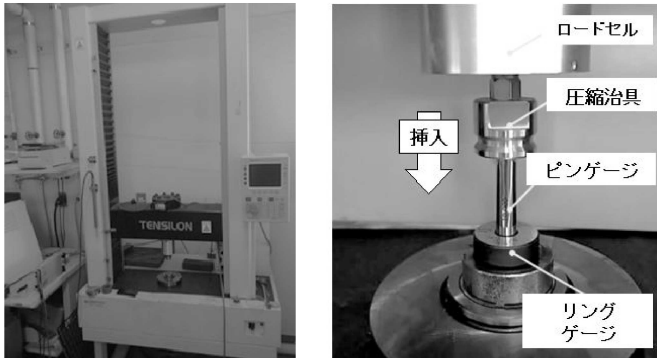


図2 クリアランスの模式図



(a) 材料試験機 (b) 挿入実験

図3 実験装置の外観および挿入実験の概要

表1 材料試験機の仕様

装置	材料試験機
メーカー	(株) オリエンテック
型式	RTC-1350A
精度	荷重測定精度：指示値±1% 速度精度：指示値±0.2%
その他	ロードセル定格荷重：1kN(100kgf)

実験装置の外観および挿入実験の概要を図3に、実験装置（材料試験機）の仕様を表1に示す。

挿入実験前にエタノールで各測定ゲージを1分間超音波洗浄し、油分や汚れを取り除いた後、図3(b)に示すように試験機上にリングゲージを取り付けた。

ロードセル側の圧縮治具には、ピンゲージを挿入する際の傾きを無くすため、ピンゲージを一度リングゲージに挿入し軸合わせを行った後、ピンゲージをロードセル側の圧縮治具と両面テープで固定し、高さ方向に移動させた後に挿入実験を行った。

挿入実験は、10mm/minの挿入速度で実施し、挿入時の最大荷重を挿入力として評価した。

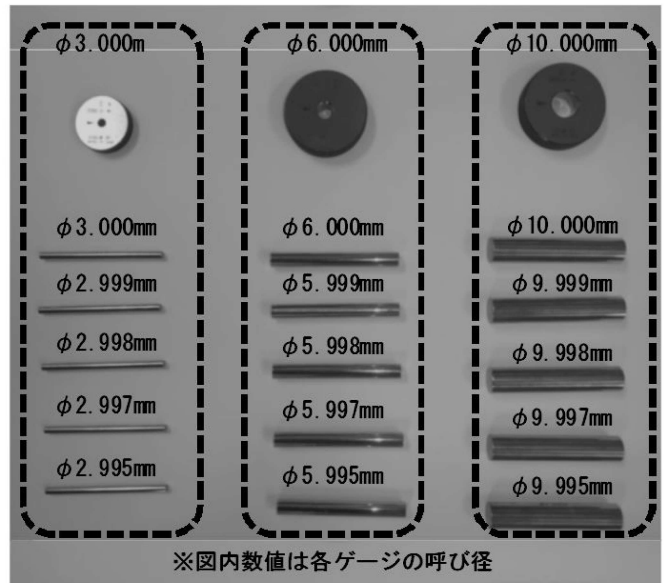


図4 測定ゲージの外観

### 2.2 測定ゲージ

呼び径3.000mm、6.000mm、10.000mmの3種のリングゲージを用意した。また、それらのリングゲージと呼び径によるクリアランスが0μm、0.5μm、1μm、1.5μm、2.5μmの5水準となるように、各リングゲージにおいて呼び径の異なるピンゲージを用意した。用意した各測定ゲージの外観を図4に示す。

また、各リングゲージは1種類につき3つ（合計9つ）、1つのリングゲージに対して5水準のクリアランスとなるピンゲージそれぞれ3本用意した（合計45本）。ここで、呼び径3mmの1つ目のリングゲージをφ3mm-1、2つ目をφ3mm-2、3つ目をφ3mm-3と表記する（呼び径6mm、10mmのリングゲージについても同様）。

### 2.3 測定によるクリアランスの算出

用意した測定ゲージは、寸法や形状に個体差があり、呼び径と実際の寸法にはわずかな差があると考えられる。そのため、挿入実験前に、リングゲージの内径およびピンゲージ外径を測定し、クリアランスを算出した。図5に測定機の外観、表2に測定機の仕様を示す。



(a) 高精度三次元測定機 (b) 真円度測定機

図5 測定機の外観

表2 測定機の仕様

装置	高精度三次元測定機	真円度測定機
メーカー	(株) ミットヨ	(株) ミットヨ
型式	LEGEX707	RA-2200AS
精度	指示精度： 0.48+L/1000 (mm) L:測定長 (mm)	回転精度(径方向) 0.02+3.5H/10000 (um) 0.02+3.5R/10000 (um) H:測定高さ(mm) R:半径(mm)
その他	スタイラス径： φ 1.5mm チップ材質： ルビー	スタイラス径： φ 1.6mm チップ材質：超硬

表3 各ゲージ測定結果の一例

測定対象	呼び径(mm)	測定値(mm)
リングゲージ (φ 3mm-1)	3.000	2.9994
	3.000	3.0003
ピンゲージ (φ 3mm-1 対応)	2.999	3.0002
	2.998	2.9993
	2.997	2.9975
	2.995	2.9954
リングゲージ (φ 6mm-1)	6.000	5.9998
	6.000	6.0007
ピンゲージ (φ 6mm-1 対応)	5.999	5.9997
	5.998	5.9986
	5.997	5.9976
	5.995	5.9956
リングゲージ (φ 10mm-1)	10.000	9.9999
	10.000	10.0000
ピンゲージ (φ 10mm-1 対応)	9.999	9.9991
	9.998	9.9979
	9.997	9.9976
	9.995	9.9955

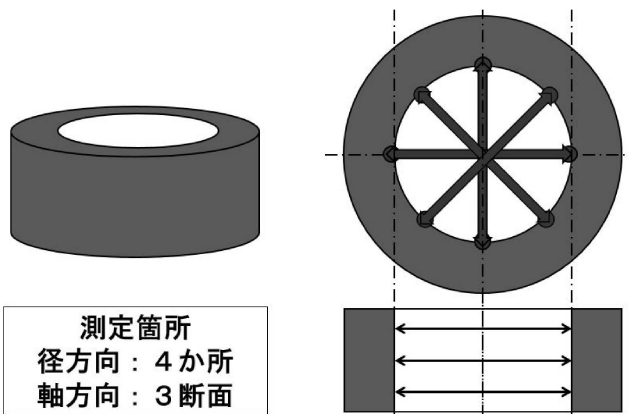


図6 リングゲージ測定の模式図

図6にリングゲージ測定の模式図、表3に各ゲージの測定結果の一例(φ 3mm-1, φ 6mm-1, φ 10mm-1及び対応ピンゲージ)を示す。

各ゲージにおいて、径方向に対して4か所、軸方向に対して3断面の計12か所、測定回数3回ずつ直径を測定し、その平均値を算出した。リングゲージは内径、ピンゲージは外径を測定している。また、測定には図5(a)高精度三次元測定機を使用した。

測定結果からメーカーの製品仕様の範囲内ではあるが、リングゲージは呼び径よりも小さく、ピンゲージは呼び径よりも大きくなる傾向が得られた。

また、図5(b)真円度測定機を使用してリングゲージの真円度測定を行い、メーカーの仕様を全て満たしていることを確認した。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 呼び径によるクリアランスと挿入力の関係

図7～図9に、各測定ゲージの呼び径によって算出されたクリアランスと挿入力の関係を示す。

いずれの直径においても、クリアランス1μm以上の場合、挿入力がほとんど発生しないことから、ピンゲージ挿入時にリングゲージと干渉していないことが確認された。そのため、実際の検査も、クリアランスが1μm以上あり、垂直にピンゲージを挿入できれば、挿入力は発生しないと考えられる。理論的には、クリアランスが少しでも存在する場合には、ピンゲージとリングゲージは干渉することなく、挿入力は発生しないと考えられるが、本実験の結果では、クリアランス0.5μm以下の場合、大きな挿入力が生じた。

これらの主な原因として、測定ゲージの寸法あるいは形状等の個体差、測定ゲージを脱脂したことによる影響が挙げられる。挿入実験時のピンゲージおよびリングゲージの取り付け誤差等も影響するが、前述したように、一度、軸を合わせた上で挿入実験を実施したため、無視できるものとした。

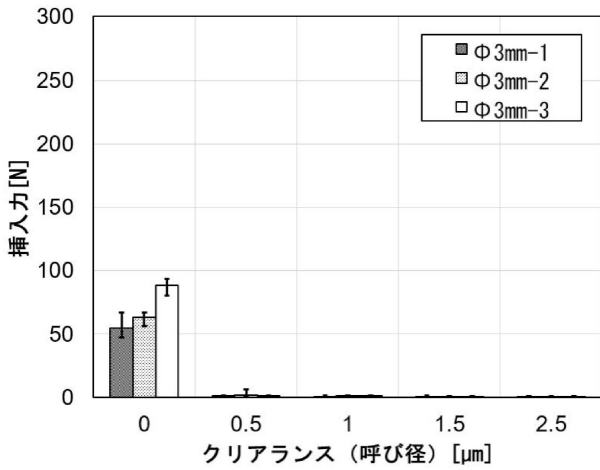


図7 クリアランス (呼び径 : 3mm) と挿入力の関係

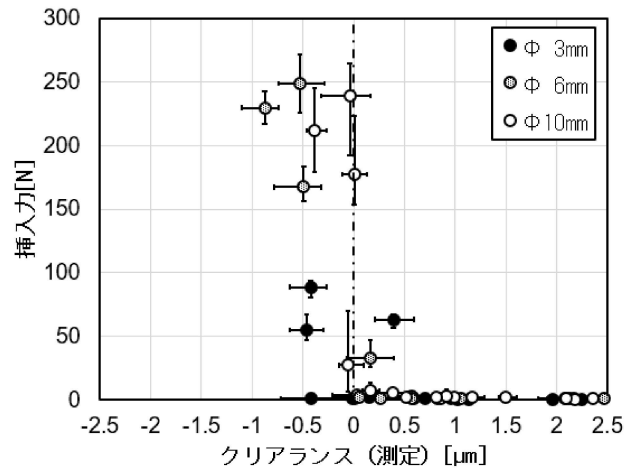


図10 クリアランス (測定) に伴う挿入力の変化

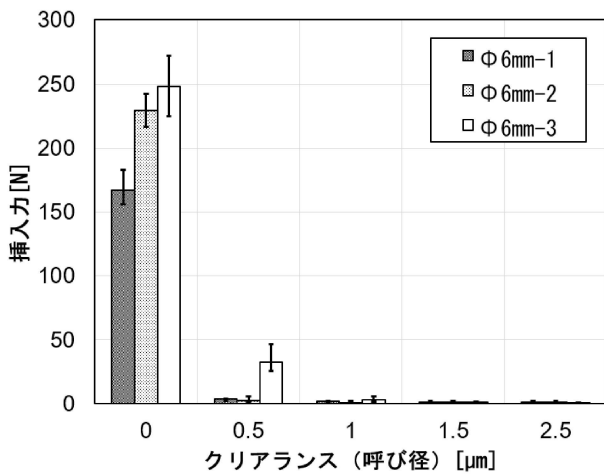


図8 クリアランス (呼び径 : 6mm) と挿入力の関係

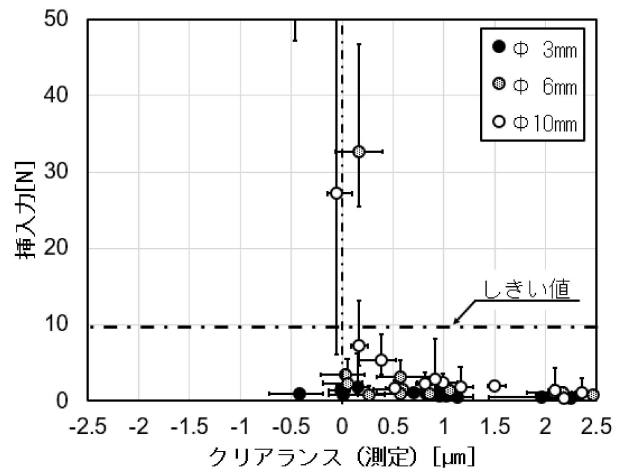


図11 クリアランス (測定) に伴う挿入力の変化 (拡大)

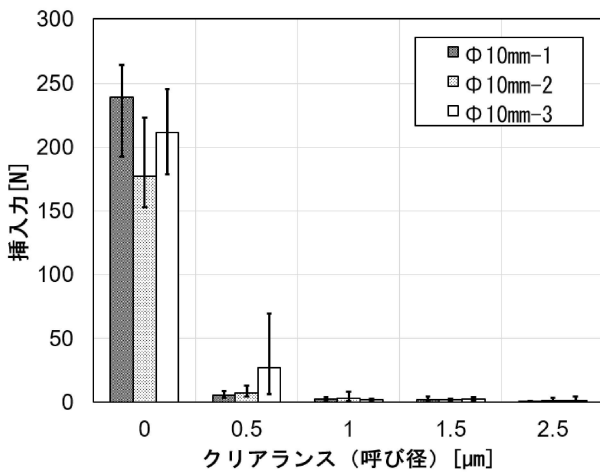


図9 クリアランス (呼び径 : 10mm) と挿入力の関係

また、表3のとおり、仕様の範囲内ではあるが、各ゲージの呼び径と高精度三次元測定機による測定の結果ではわずかに差がある。そこで、より実際のクリアランスに基づいて評価するため、測定によって算出したクリアランスと挿入力との関係を検討することとした。

3. 2 測定によるクリアランスと挿入力の関係

図10に測定によって算出されたクリアランスと挿入力の関係を、図11にその拡大図を示す。

図10より、測定によって算出されたクリアランスが負となる場合、ピンゲージとリングゲージが圧入状態となるため過大な挿入力が発生し、クリアランスが正となる場合、クリアランスが大きいほど小さな挿入力となった。

また、図11より、クリアランスと挿入力の関係として、ある程度のばらつきはあるが、クリアランスが正の場合、9.8N以下となる傾向が得られた。ただし、クリアランス正においても挿入力9.8Nを超える結果が2点、クリアランス負において、挿入力が0に近い点が1つある。この2点については、各ゲージの形状による影響が考えられる。各ゲージの真円度測定によってゲージの製品としての仕様を満たしていることは確認したが、図12のとおり、拡大して形状を確認すると、ゲージは完全な真円ではなく歪みがあることがわかる。リングゲージ、ピンゲージの歪みの組み合わせや歪みによる各ゲージの測定結果の誤差によって、他の結果と傾向の異なる点が発生したと考えられる。この歪みによる影響は歪み自体が非常にわずかであり測定機の精度

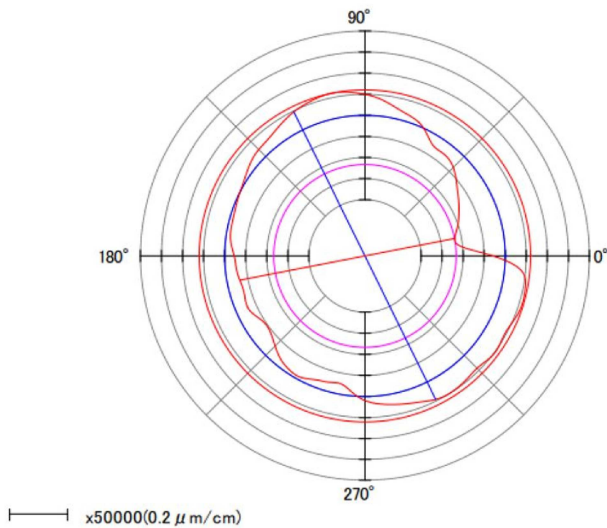


図12 真円度測定結果の一例  
(呼び径 10mm リングゲージ, ×50000)

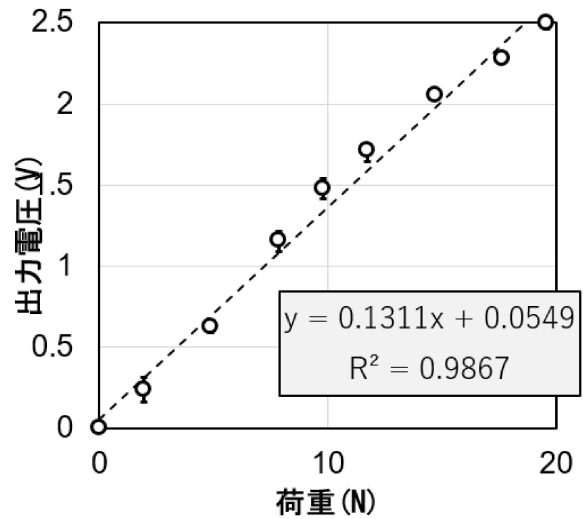


図14 負荷荷重と挿入力の関係 (感圧センサ)

表 4 精密穴検査用アシストツールの仕様

制御デバイス (ESP32 DevKitC)	開発環境: Arduino IDE ツールとの接続: 有線
感圧センサ (FSR400)	方式: 抵抗膜式 作動力: 0.1N 感圧範囲: 0.1~20N
傾きセンサ (MPU9250)	方式: 9軸センサ (3軸加速度, 3軸角速度, 3軸地磁気) 測定範囲/分解能: ±2g/16bit (加速度) ±250dps/16bit (角速度) ±4800μT/16bit (地磁気)

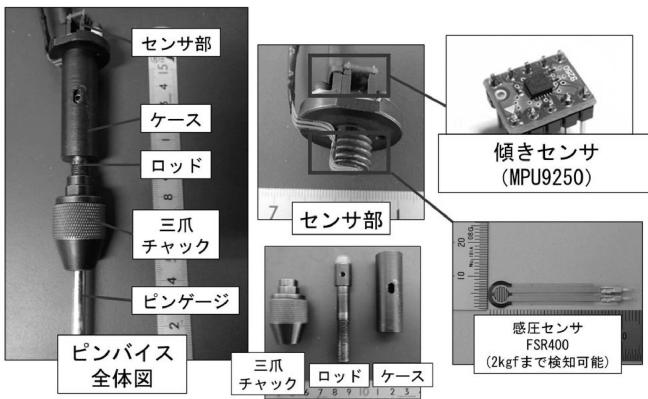


図13 精密穴検査用アシストツールの概要

から定量的な考慮が困難である。そのため、本研究では、全体の傾向を重視し、9.8Nを精密穴検査における適切な挿入力のしきい値とした。

以上のことから、精密穴検査において、「通り」の検査では、しきい値 (9.8N) 以下の挿入力で穴にピンゲージを通し、一方で、「止り」の検査では、しきい値 (9.8N) 以上の挿入力を負荷した際に、ピンゲージが穴に入らなければ「合格」という判定が可能となる。

#### 4. 精密穴アシストツールの開発

これまでの実験結果により、挿入力をを用いて精密穴検査の可否を判定するアシストツールを開発した。図13に、精密穴検査用アシストツールの概要、表4に本ツールの仕様を示す。

本ツールは感圧センサを内蔵しており、制御デバイスに有線で接続することで、精密穴検査時の挿入力を検知し、しきい値を9.8Nとして設定し、検査の判別に使用することができる。

副次的な機能として、傾きセンサを搭載しており、精密検査時のゲージの傾きや検査者のツールの動かし方を得ることが可能である。ただし、傾きセンサについて、精密穴検査時の微小な傾きの関係について検証していないため、今後の課題としたい。

また、アシストツールの感圧センサの負荷荷重と挿入力の関係を図14に示す。挿入力に応じた出力電圧を示しており、荷重20Nまで測定可能である。

#### 5. 県内企業との共同開発

本研究で得られた成果を元に、県内企業である鹿児島精機(株)と精密穴検査時の検査者によるバラツキを低減させるピンゲージ保持器の開発を共同で行った。その結果、両端に「通り」、「止り」のピンゲージを取り付け、検査時に挿入力がしきい値を超えるとLEDが光るデュアル装着型の保持器<sup>2)</sup>(図15)と、ピンゲージを検査穴に対して平行に挿入する事を補助する接触付勢型の保持器<sup>3)</sup>(図16)を開発した。

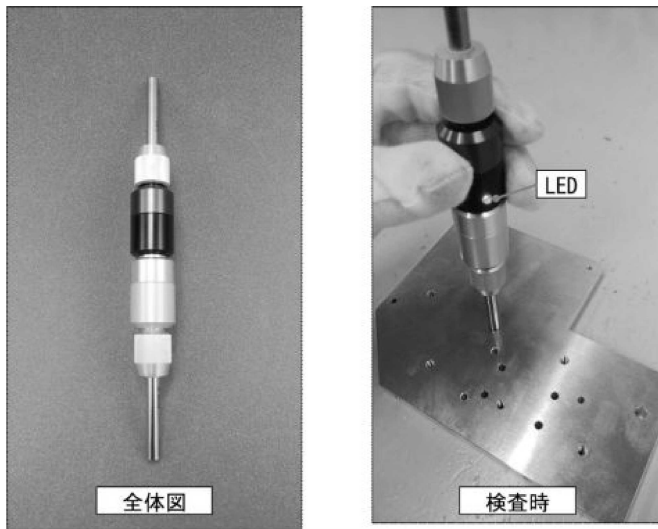


図15 デュアル装着型の保持器

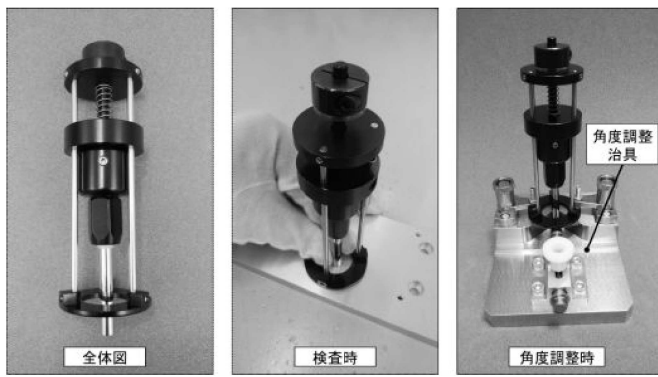


図16 接触付勢型の保持器

## 6. 結 言

本研究によって、以下の知見が得られた。

- (1) 精密穴検査における適正なピンゲージの挿入力について実験を行い、9.8Nというしきい値を得た。
- (2) 実際の精密穴検査において、検査時の挿入力（しきい値：9.8N）を判定基準として活用する手法を検討した。
- (3) 感圧センサおよび傾きセンサを内蔵させた精密穴検査用アシストツールを開発した。

本ツールは、検査時の挿入力や傾き、検査者のツールの動かし方等を取得し検知することが可能である。

まだ、傾きの検知等について、課題があるため、今後取り組んでいきたい。

## 参 考 文 献

- 1) 黒瀬矩人ら：“絵とき 精密測定的基础のきそ”，日刊工業新聞社(2013)p73-74
- 2) 特許第7054101号
- 3) 特許第7093981号



本研究は財団法人JK Aの「機械工業振興補助事業」により整備した機器を活用して実施しました。