

ワーク寸法検査の自動化を容易に

—汎用画像計測機「NEVI-Eye」—

NACHI Excellent Vision Inspector 「NEVI-Eye」

キーワード

画像処理、位置決め、ティーチング、ビデオオートフォーカス、基本ツール
計算ツール

技術開発部電子技術部

田中久博

東 真一

1. はじめに

工場の自動化を進める上で、最初に取り上げられる課題の一つに、検査工程の省人化あるいは自動化であろう。画像処理は、検査工程の自動化に欠くことのできない要素技術としていろいろな分野で導入が進められてきた。画像処理を検査工程に用いる場合のメリットは、非接触でしかも検査対象物各部の特徴を定量化することができる点にある。ただし、一般に画像処理を利用した検査装置は、調整が難しく、しかもワークが替わるたびに検査プログラムの変更が必要なために、導入には少なからず経験が求められる。したがって、画像処理装置の多くが、限られた分野で、しかも特定のオペレータが操作した場合にのみ成果をあげているのが現状である。

そこで、画像処理の持つ優位性を損なうことなく、しかも各種ワークに迅速に対応し、誰もが簡単に使えることを目的として、汎用画像計測機「NEVI-Eye」を新たに商品化した。ここでは、その特徴と応用例を紹介する。

2. 概要

NEVI-Eye (NACHI Excellent Vision Inspector) は、画像処理による高精度のエッジ計測技術とワークの高精度位置決め機能を統合した新しいタイプの寸法計測装置である。複雑で難解な画像処理技術、位置制御技術などは全てパソコンをベースとしたコントローラに内蔵したため、測りたい場所を指示するだけ

で、簡単に寸法値を得ることができる。図1に、NEVI-Eyeの外観を示す。

寸法計測の対象となるワーク種が替わった場合に、それに応じて計測箇所あるいは計測方法を簡単に変更できることは、計測機にとって非常に重要なポイントである。そのために、NEVI-Eyeにはティーチングシステムが導入されている。豊富に搭載されている各種ツール群を、自由に組み合わせてティーチングすることで、いろいろな計測物の寸法を簡単に測定することができる。また、ワークを搭載するためのステージには、250x200mmの計測範囲をカバーする門型のステージを採用したため、小さな設置スペースで容易に測定システムを構成することができる。図2にNEVI-Eyeのシステム構成、表1に主な仕様を示す。

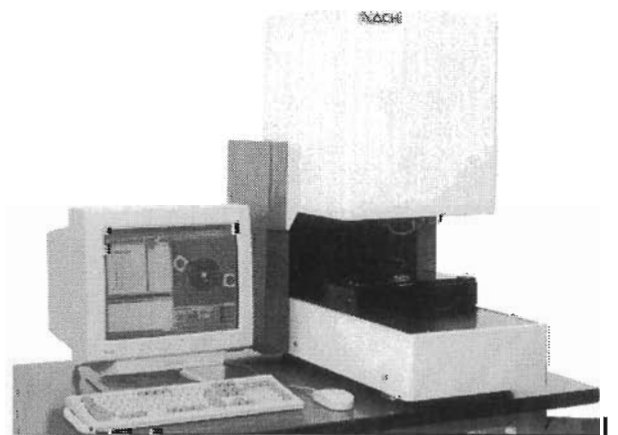


図1 NEVI-Eye 外観

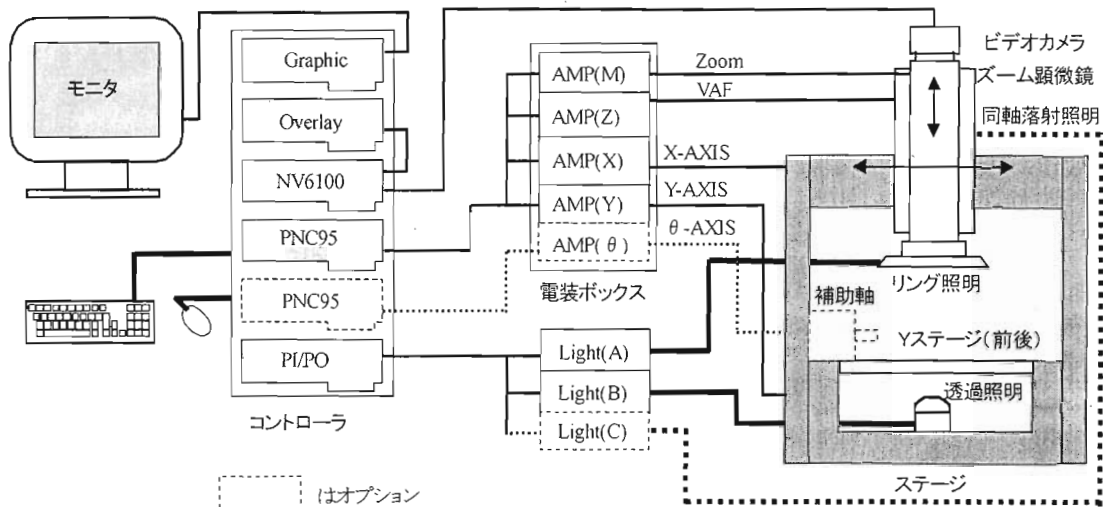


図2 システム構成

表1 主な仕様

項目	仕様
ステージ部	
制御方法 (X, Y) (Z)	ACサーボ制御 (フルクロスドループ制御) (セミクロスドループ制御)
繰返し位置決め精度	±0.5μm
計測範囲 (X×Y) (Z)	200×250mm 自動: 100mm, 手動: 100mm
最大速度	100mm/s
最小位置検出単位	0.5μm
補助軸	1軸まで追加可能 (オプション) (治具, 使用するモータ, エンコーダは別途相談)
機械精度 (X, Y) (Z)	(2+L/200) μm L: 任意2点間の距離 (mm) (4+L/200) μm
顕微鏡, 照明	
顕微鏡	×0.3~×1.8倍電動ズーム方式 視野: 約20×20mm~3×3mm (オプションで高倍率ズーム顕微鏡も選択可能)
照明	透過照明, リング照明 (パソコン制御式調光機能) 最大3台まで制御可能
画像計測方式	
計測指示方法	実計測物を使用した対話式ティーチング方式
基本ツール	点, 直線, 円, マッチングなど6種類
計算ツール	2点間距離, 2直線間距離, 角度など17種類
計測プログラム	ティーチングデータより自動プログラミング
結果出力	画面への結果表示
手動計測	TV定規 (画面内カーソル線表示) 搭載
データ処理方式	
処理ソフト	Microsoft Excel 搭載
処理方法	用途に応じて作成可能
本体 (ステージ部のみ)	
サイズ (W×D×H)	500×900×900mm
重量	約180Kg

3. 特徴

NEVI-Eyeの主な特徴を、以下に示す。

- 計測物に応じたプログラムの作成を必要としないティーチングシステム
カメラで撮影された計測物の画像を見ながら、その場で計測ポイントを指示するティーチング方式を全面的に採用したため、プログラム作成という従来の概念は全く不要となった。また、計測ポイ

ントが多い場合でも、一度ティーチングを行なうと、次からは全ての計測を自動的に行なうことができる。そのために、今まで手作業で行なっていた計測・検査作業を大幅に簡素化することができる。

- 高い計測再現性を実現する自動焦点機能
計測物の高さばらつき、それによるピントのズレは計測再現性に大きく影響する。NEVI-Eyeでは、計測時のピントズレを防止するための自動焦点機能 (ビデオオートフォーカス) を装備している。この機能を使えば、自動的にピント合わせを行なうことができるので、再現性を損なうことなく計測を行なうことができる。
- 種々のワークに対応した照明制御機能
NEVI-Eyeでは、最大3台の照明装置を同時に制御することができる。標準では、投影機と同じ使い方ができる透過照明、ワーク表面に照明をあてるリングタイプ照明の2台が装備されている。ワーク種、計測箇所に応じて、明るさも含めて適切な条件を設定することができる。
- ズーム顕微鏡を標準搭載
ワークの大きさに応じて倍率を変更できるズーム顕微鏡を標準で搭載している。ワークの大きさ、あるいは計測精度に応じて適宜倍率を変更することにより、効率良く計測を行うことができる。
- Microsoft Excelを活用した計測結果の効率的な活用
計測したデータはMicrosoft Excelの書式で出力される。したがって、各種解析、統計処理、印刷など計測データを様々な方法で処理することができる。また、Windows95をOSとしたパソコン上で動作しているので、ネットワークへも容易に接続

することができる。

- ・ オptional回転軸を使った円筒形状ワーク計測
NEVI-Eyeには、X-Yステージ上に、ワークを回転させながら計測する機能をオプションで搭載することができる。X-Yステージ上に、ワークを回転させるスピンドルを搭載することにより、ボールエンドミルなどの円筒あるいは棒形状ワークの曲面上の加工寸法も正確に計測することができる。
- ・ 外部プログラムとの連携機能
NEVI-Eyeには、外部プログラムとの連携機能が標準で準備されている。この機能を上手に利用すれば、例えばティーチングデータや計測データをデータベースソフトで管理し、必要に応じてそれらのデータをネットワークを介してホストコンピュータに転送するといったシステムを容易に構成することができ、しかも作業内容に応じてカスタマイズすることもできる。また、ティーチング作業をサポートするための汎用 CAD ソフトとの連携機能も現在開発中である。

4. 計測方法

NEVI-Eye上でワークの寸法を計測するためには、大きく分けると以下の3つの作業が必要となる。

- ティーチング
- 自動計測
- 解析

図3に、計測作業のおおよその流れを示す。

ティーチングとは、計測を行なうための準備作業で、実ワークもしくはマスターワークを使用して、計測する箇所と計測方法を順番に設定する。ティーチングは、全て計測エディタと呼ばれるプログラム上で作業を行う。NEVI-Eyeでは、ティーチング作業中に、いろいろ計測条件を変えながら手動で値を求め、そのばらつきを確認することによって、ワークを計測するための最適条件を設定することができる。ティーチングが一通り終了すると、計測プログラムを作成するが、この作業は、すべて自動的に行なわれるため、プログラミングに関する知識は、全く必要としない。

自動計測は、実際のワークを計測するもので、基本的にはステージ上にワークをセットし、プログラム実行ボタンを押すだけである。ティーチングされた条件で、全ての計測を行ない、結果を出力する。解析は、計測した結果を判定したり検査書に転記す

る作業で、表計算ソフト (Microsoft Excel) 上で実行する。解析作業も、表計算ソフト上で自動マクロを作成しておくこと、簡単に集計作業や出力作業を行なうことができる。

5. ティーチング

NEVI-Eyeでは、様々なワークの寸法を測るために多数のツールが装備されている。ティーチングでは、これらのツールをいろいろ組み合わせて使用することによって、ワーク各部の長さや角度を計測する。画像処理により寸法を計測するには、次の2つの作業が必要となる。

- ・ 計測物の計測する場所の位置を正確に測定する
 - ・ 計測した位置データから実際の寸法を計算する
- NEVI-Eyeでは、前者を「基本ツール」、後者を「計算ツール」と呼び、階層化している。例えば図4のように、ワークの幅寸法を計測する場合は、まずワークの2ヶ所のエッジ位置を基本ツールを使って計

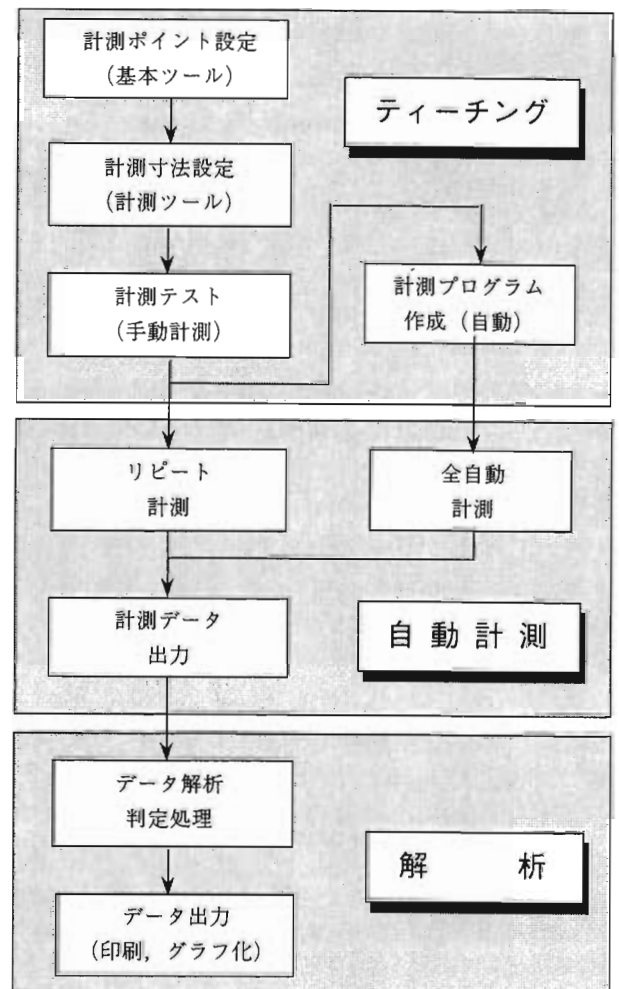


図3 計測順序

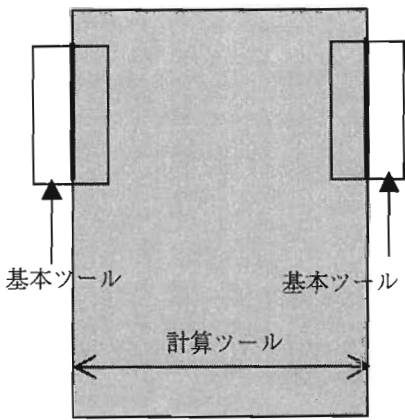


図4 基本ツールと計算ツールの関係

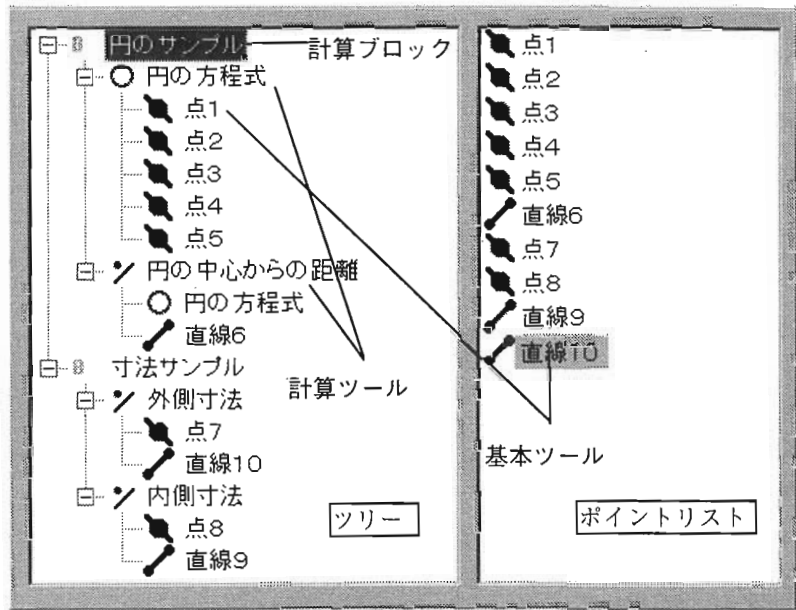


図5 ツリーとポイントリスト

測する。次に、それぞれの基本ツールの計測結果から、計算ツールを使ってその差を求め、ワークの幅寸法を算出している。これら、基本ツールと計算ツールの関係は、計測エディタ上のツリーとポイントリストで表現される。図5に、ツリーとポイントリストの例を示す。基本ツールと計算ツールの機能を有効に組み合わせて用いれば、複雑な形状のワークでも、比較的簡単に寸法を計測することができる。

用いて板厚および幅を計測した。計測結果を表2に示す。表2からも明らかなように、計測値の標準偏差は規格値公差に比較し十分に小さいので計測に問題はないことがわかる。

6. 計測例

6.1 アルミ建材断面形状測定

図6に、アルミ建材断面の計測例を示す。計測箇所は①～⑨の9箇所です。アルミ材断面の板厚や幅等を測定する。現状では、オペレータがノギスやマイクロメータなどを使用して計測しているために、計測値にオペレータの個人差が入ることは避けられない。これを自動化するために、まず①～⑨の各個所のワークエッジ位置を基本ツール（点ツールあるいは直線ツール）で抽出し、計算ツール（距離ツール）を

6.2 ベアリング用リテーナ測定

図7に、ベアリング用リテーナの計測箇所、表3に検査規格例を示す。計測箇所は①～⑤の項目についてそれぞれ1～9の各ポイントで合計45箇所あり、NEVI-Eye導入前は、検査員が工具顕微鏡などを使用

表2 アルミ建材計測結果

(単位 mm)

	規格値		計測値 (n=10)	
	基準		平均	標準偏差×3
①	12.00		11.833	0.002
②	72.00		72.233	0.003
③	36.50		36.610	0.002
④	37.50		37.333	0.002
⑤	1.20		1.195	0.002
⑥	1.00		0.853	0.001
⑦	1.00		0.901	0.001
⑧	1.00		0.861	0.001
⑨	1.00		1.064	0.001

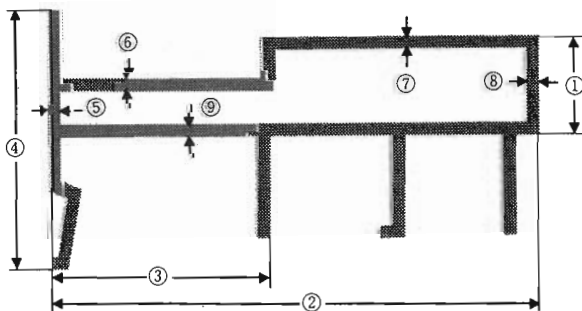


図6 アルミ建材計測例

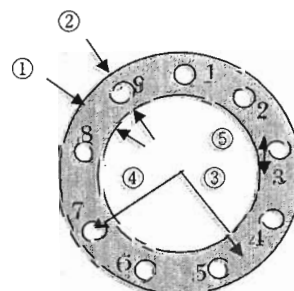


図7 リテーナの計測箇所

して手でワーク各部を計測し、検査時間に約 30 分を要していた。

これを NEVI-Eye を用いて自動化するために、まずワーク各部の計測箇所を図 8 に示す方法でティーチングした。NEVI-Eye には、ティーチングデータの回転コピー機能が準備されているため、①～⑤の検査項目を 1～9 のいずれか 1 箇所のポイントでのみテ

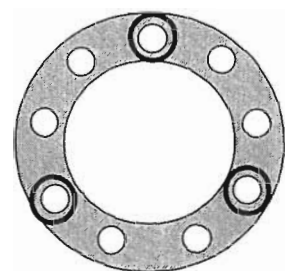
ィーミングすれば、簡単に自動プログラムを作成することができる。

図 9 に計測結果の一部を示す。●が NEVI-Eye の計測結果、×が手動での計測結果である。手動で計測した場合とほぼ同様な計測結果が得られていることがわかる。また計測再現性についても 10 回連続して計測した場合の標準偏差が 0.001～0.005mm で、計測に支障はない。

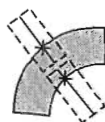
表 3 リテーナの検査規格例

(単位 mm)

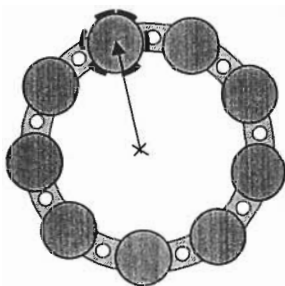
	測定項目	規格値	+公差	-公差
①	板幅 (ポケット部)	4.00	0.20	0.20
②	板幅 (フラット部)	4.00	0.20	0.20
③	ポケット PCD	46.50	0.06	0.12
④	リベット穴 PCD	46.50	0.10	0.10
⑤	リベット穴ずれ	0.00	0.12	0.00



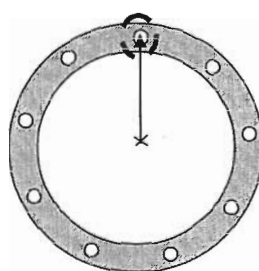
位置合わせ
3つのリベット穴の位置をマッチングツールで検出し、水平方向および回転方向の位置ずれを補正する



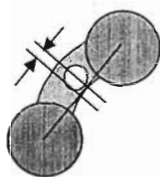
項目①② 板幅測定
点ツールで外側と内側のエッジ位置を検出し、2点間の距離を求める。



項目③ ポケット PCD 測定
リテーナにボールを乗せ円ツールで各々のボールの中心座標を検出する。
検出された9点のボール中心座標から全体の仮想中心を求め、仮想中心とボール中心との距離を計算する。



項目④ リベット穴 PCD 測定
円ツールで各々のリベット穴の中心座標を検出する。
検出された9点のリベット穴中心座標から全体の仮想中心を求め、仮想中心とリベット穴中心との距離を計算する。



項目⑤ リベット穴ずれ測定
隣り合うボールの中心を検出し、中心を通る直線を求める。
次にその直線の中点を通る直線を計算し、その直線とリベット穴の中心との距離を求める。

図 8 リテーナのティーチング方法

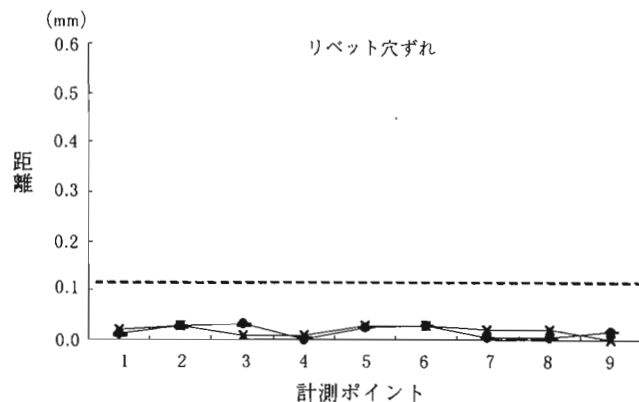
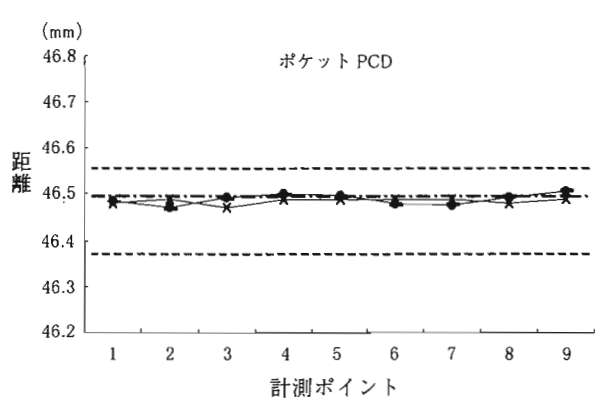


図 9 リテーナ計測結果

軸で回転させることによって刃先形状を計測する。図10に、エンドミル刃先とズーム顕微鏡の位置を図示する。エンドミル刃先とズーム顕微鏡との間の距離は、補助軸を回転させることにより変化するが、刃先の輪郭形状を精密に計測するためには、常にその距離が合焦位置となる（ピントが合う）ように制御されなければならない。そのために、NEVI-Eyeには、ビデオオートフォーカス機能が搭載されている。

図11に、補助軸の回転角度とエンドミル刃先を画像処理した時のコントラスト値の関係を示す。図11から明らかなように、合焦位置を求めるためにはコントラスト値が最大となる回転角度を求めれば良い。ただし合焦位置前後（顕微鏡の焦点深度内）では、コントラスト値の変化があまりなく、しかも再現性に乏しいために、従来のエンドミル検査装置では非常に処理時間が必要とされていた。これをNEVI-Eyeでは、処理アルゴリズムを新たに開発し、しかも補

助軸を回転させながらコントラスト値を検出することによって処理時間を半減した。なお、NEVI-Eyeに搭載されているビデオオートフォーカス機能については、現在特許出願中である。

表4に計測結果を示す。計測再現性は1 μ m以下であり、ほぼ正確に刃先形状を計測していることがわかる。

また、この検査システムでは、検査に伴う様々なデータを一元管理し、しかも作業時のデータ入力項目を必要最小限に抑えるために、図12に示すソフトウェア構成を採用した。ここでは、システムの核となるデータ管理部分は、Microsoft Excel上で定義され、エンドミル径、公差、ティーチングデータなどは全てこの中で集中管理されている。計測作業を開始する場合は、ボールエンドミルをセットした後、図13上部に示すダイアログボックスに必要項目を選択入力し、計測開始ボタンを押すだけである。計測開始ボタンが押されると、制御権はMicrosoft ExcelからNEVI-Eyeに移り、選択されたエンドミル径に応じて計測動作を実行する。計測が終了すると、制御権は再びMicrosoft Excelに戻り、あらかじめ指定された公差に従って良否を判定する。判定結果は、図13下部に示すフォーマットで出力され、輪郭形状を図形化して表示する。また、判定結果は、ファイル化あるいはプリンタで印刷することもできる。ボールエンドミル刃先形状検査システムは、NEVI-

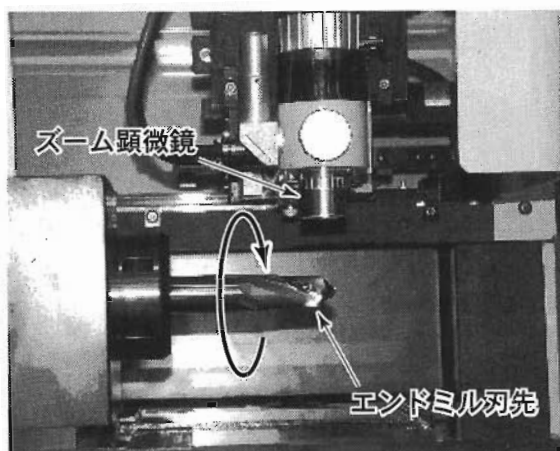


図10 エンドミル刃先検査方法

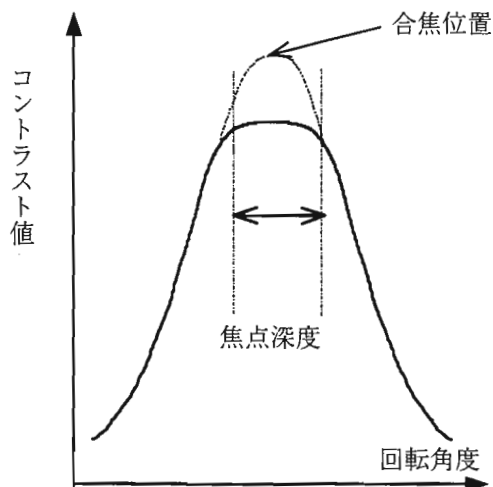


図11 ビデオオートフォーカス

表4 ボールエンドミル計測結果

計測対象	ボールエンドミル R0.5~25mm
計測倍率	約15倍 (0.85 μ m/画素)
計測再現性 (σ)	0.3~0.9 μ m
計測時間	約3分

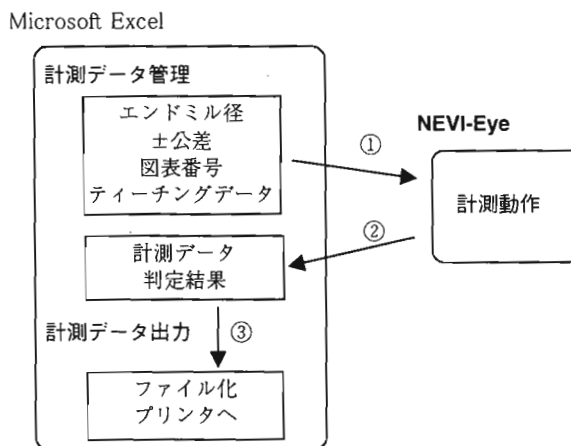
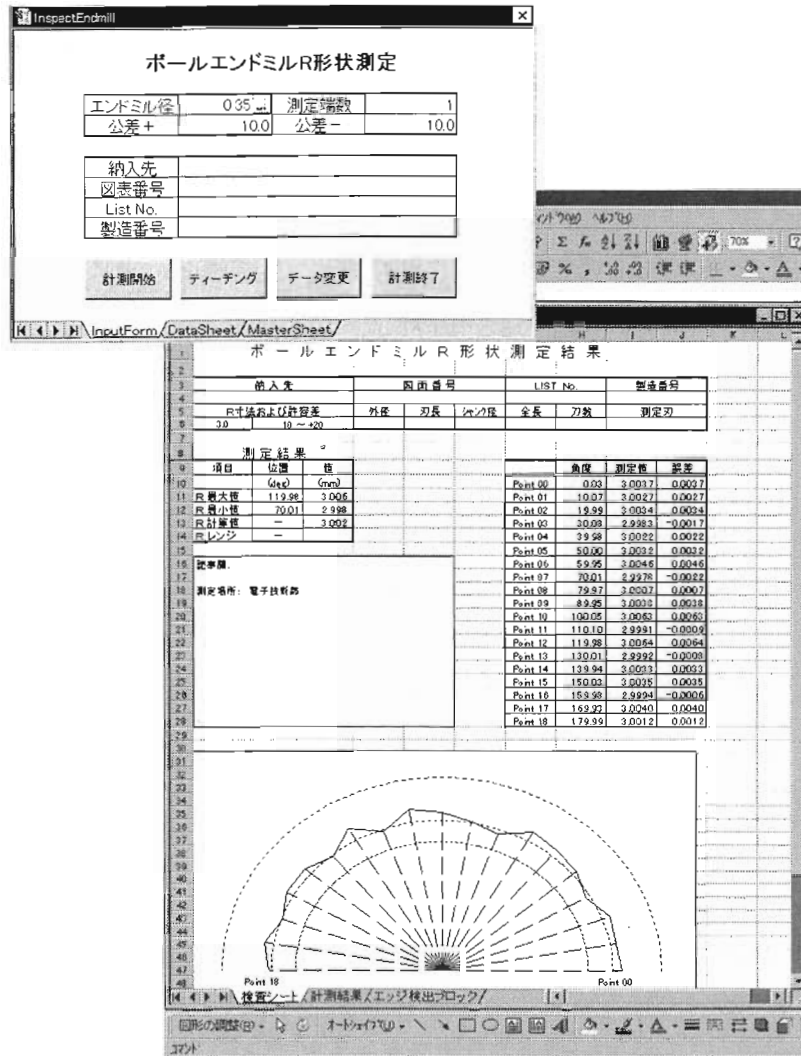


図12 ソフトウェア構成



Eye の持つ外部ソフトウェア連携機能を有効活用することによって実現しているが、ボールエンドミル以外の各種検査へも、Microsoft Excel 上での簡単な修正作業によって、容易に適用することができる。

7. おわりに

以上、汎用画像計測機「NEVI-Eye」の特徴と導入例を紹介した。是非、御愛用、御評価いただきたい。

注) Microsoft, Excel, Microsoft Excel, Windows95 は、マイクロソフト社の登録商標です。