

MEMS 組立装置の開発

Development of the automated assembly system for MEMS devices

株式会社 山武	原田 豊 Yutaka Harada	株式会社 山武	樋口 数一 Kazuichi Higuchi
株式会社 山武	金原 圭司 Keiji Kanehara	株式会社 山武	小黒 直輝 Naoki Oguro
株式会社 山武	別府 永志 Hisashi Beppu		

キーワード

脆性部品組立、精密位置合わせ、画像処理、力制御、装置立ち上げ支援、データ可視化、力表示式教示装置

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) デバイスを対象に自動組立装置の開発に取り組んでいる。品質や歩留まりを向上させる上で MEMS に使用されている脆性部品の欠けや精密な位置合わせが課題になっている。これらに対して力制御や画像処理の技術を応用することで欠けのない部品ハンドリングと精密位置合わせを実現することができた。また製品の早期市場導入や安定供給のために開発した装置の早期立ち上げが課題になっている。これに対して立ち上げ支援と教示支援の技術を開発し立ち上げ期間の短縮や教示作業の容易化を実現することができた。以上の技術を実証するため陽極接合工程を対象に MEMS 組立装置を開発した。従来の装置と比較して良好な効果を確認することができた。本稿ではこれらの技術と実証装置について報告する。

Yamatake has been developing automatic assembly systems for applications in MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) devices. To improve product quality and yield, precise alignment and the elimination of chipping on fragile parts are key issues. These two issues were successfully resolved by applying force control and image processing technologies. Then, the early launch of the developed products became a key issue. We also successfully developed techniques for launch assistance and instruction assistance to shorten the launch period and reduce the amount of time spent on robot teaching work. In order to verify these newly developed technologies, a MEMS assembling system for an anodic bonding process has been developed, and the improved results in comparison to the previous system were confirmed. This report introduces these technologies and the verification system.

1. はじめに

MEMS デバイスを応用した製品を製造する工程において MEMS を組み立てる作業では以下が課題となっている。

- ・ 部品に欠けが生じることがある
- ・ 部品の位置がずれることがある
- ・ コミが付着することがある

これらの要因としては以下が考えられる。

a) 部品のハンドリング

ウエハからダイシングされたチップレベルでの組み立て作業では 部品をピックアップするためのハンドリングツールがチップ側面やエッジに接触すると欠けてしまうことがある。

b) 部品の位置決めやプロセス温度の影響

部品をクランプなどで物理的に位置決めする機構の場合 引っかけりによって位置決めが不完全なことがある。また部品を高温にするプロセスでは部材の線膨張係数によって寸法が変化してそれが組立精度に影響を及ぼす。

c) 人間が発する埃

組み立てにおいて人が介在する工程があるため人が発する埃が付着する可能性がある。

品質や歩留まりを向上させるためこの課題に取り組む必要がある。

一方 装置を生産ラインへ導入する時に デバックや性能評価などの立ち上げ作業に時間を要している現状がある。その要因として以下が挙げられる。

d) 問題把握が困難

デバックや装置性能を向上させる時の問題把握で分析するデータやツールが少ないため時間を要している。

e) 教示作業が困難

部品の搬送や位置決めのためにロボットなどを使用する場合の教示作業において 部品を治具などに隙間無く接触させる位置の教示が難しい。

これらの課題に対して技術開発を行い 陽極接合工程を対象に効果を実証するための MEMS 組立装置の開発を行った。

2 課題の取り組み

本章ではMEMS部品組み立てにおける脆性部品の欠け/精密位置合わせ装置の立ち上げ作業における問題把握/教示作業の課題に関する取り組みについて詳細を述べる。

2.1 脆性部品の欠け課題

部品のハンドリングにおいてロボットのハンドなどが部品と接触した際に剛体同士の接触となるため微小な変位でも過大な力が発生する。特に部品が脆性材料の場合は小さな力でも欠けが生じることがある。これを回避するためにロボットハンドに力センサを取り付け接触時の力を検出し力が閾値を超えた場合はロボットを退避させる方法を取ることにした。

そこで実際に力センサを利用しどれくらいの接触力が検出可能なかを検証した。

2.1.1 検証方法

検証方法としてはロボットを鉛直下方に一定速度で移動させ、剛体に接触したところでロボットを上昇させる。この時の実際の力センサの出力値をオシロスコープで測定した。図1は検証実験の様子を示したものである。図中の番号は以下を示している。

- ① ロボットを鉛直下方に一定速度で移動させる
- ② 先端が剛体(金属)に接触。
- ③ オシロスコープで力センサの値を測定
- ④ ロボットを上昇させる。

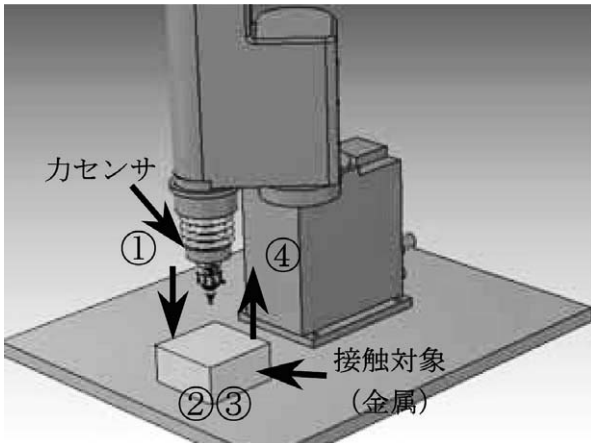


図1. 力センサ検証動作

また実験条件を以下に記す。

- ・ロボットの制御周期及び力センサ値の読み取り周期:1msec
- ・鉛直下向き移動速度:1.5 2.9 4.4 5.9 (mm/sec)
- ・力センサ定格:±20N

2.1.2 結果と考察

ロボットの移動速度とロボットが剛体と接触した際のオシロスコープによる力センサの測定値のグラフを図2に示す。

図2の結果からロボットの移動速度が1.5mm/secにおいて、1.8Nの接触力の検出が可能である。しかしロボットの移動速度が速くなると接触力が大きくなるため高速で脆性部品のハンドリングを行う事が難しくなる。この移動速度と接触力の関係は(1)式で表される。

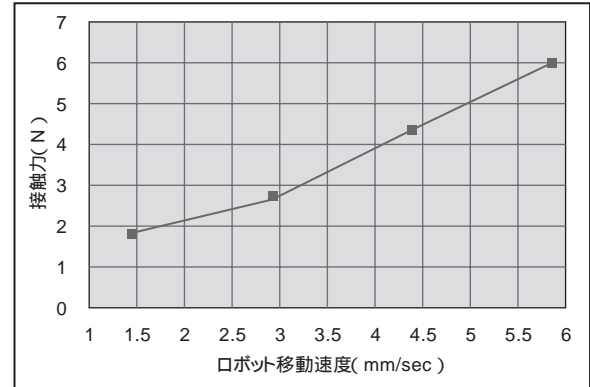


図2. 接触力とロボット移動速度

(k :ロボットの剛性 F :接触力 v :ロボットの移動速度, t :制御周期)

$$F = k \cdot tv \quad (1)$$

これより図2におけるグラフの傾きはロボットの剛性 k と制御周期 t により変化する事がわかる。そこでロボットのサーボ剛性や制御周期をフレキシブルに変化させる事ができれば図3に示すようにロボットの移動速度に対する接触力を変更する事ができる。移動時と接触時の剛性を変える力制御を行うことで高速なハンドリングを実現できると考えている。

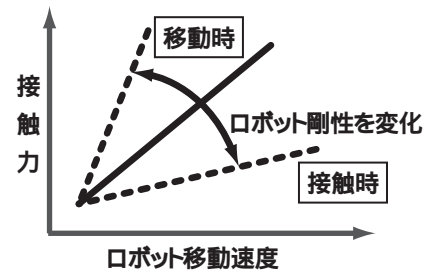


図3. ロボット移動速度と力センサ値

2.2 脆性部品の位置合わせ課題

脆性部品をハンドリングする方法として欠けを生じないようにするためチップの面を吸着する方式を取ることにした。この方式で部品を治具へ搬送し重ねていく。置く時は下の部品の位置に対して精密に位置を合わせる必要がある。

この吸着による方式で部品同士の位置を合わせるために画像処理を用いることにした。部品を重ねる前に吸着した部品の位置と治具上にある部品の位置を画像処理で認識しておく。そして両者の位置のずれ量を計算しロボットの教示位置を補正して移動させる。この方法であればロボットの繰り返し精度と画像処理精度を合わせた精度で位置合わせを行うことができる。

画像処理システムの概要を図4に示す。コントローラは画像処理装置へコマンドを送出し部品位置を受信する。画像処理装置は位置認識以外に部品の有無や処理失敗などの判定も行っている。また処理失敗の時のために後述する支援機能を有している。

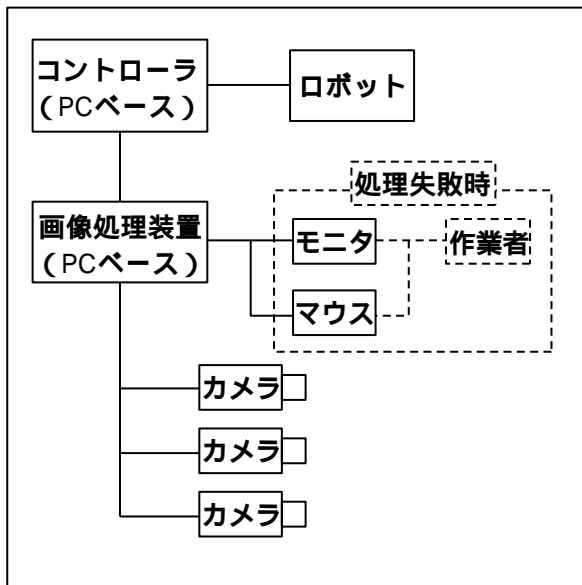


図4.画像処理システム図

2.2.1 処理アルゴリズム

画像処理の対象となる部品は種類が幾つかあるため、それぞれに応じたアルゴリズムが必要である。しかし種類毎のアルゴリズムではプログラムの肥大化や修正作業時の範囲が拡大するなどの課題がある。そこで複数の部品を同一のアルゴリズムで処理できる一例を紹介する。

図5は形状が異なる部品の画像をヒストグラムにしたものである。アルゴリズムではヒストグラム形状の谷を認識しその輝度値を閾値とした複数の領域を抽出する。既知の部品の大きさから領域を選択することによって画像の部品領域を求めることができる。これによって形状が異なる部品でも同一のアルゴリズムで処理することができる。

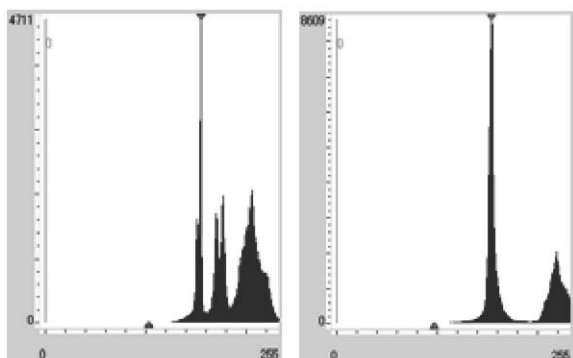


図5.形状が異なる部品のヒストグラムの違い

2.2.2 作業員による画像処理支援

画像処理を用いる場合、処理の失敗がおきることがある。失敗の要因は、部品や照明の変化、外乱光の影響などがある。画像処理アルゴリズムを工夫しロバスト性を向上するなど、失敗の頻度を下げてはいるがゼロにすることは難しい。画像処理に失敗すると作業の途中で装置が止まることになり部品を取り除くなどの復旧作業を生じる。装置として生産ラインに導入する時にはこの作業を如何に短い時間にさせるかが課題となる。

そこで画像処理が失敗した時は、作業員が部品の位置を示すことができるようにした。図6は失敗時の操作画面の例である。作業

員はマウスを用いて部品の対角の2点(图中的[+]マーク)を指示する。これによって部品の組立作業を継続することができるようになるので、作業停止・部品取り除き作業・再度組み立てといった工程をなくすことができ、復旧作業時間を短くすることが可能となった。

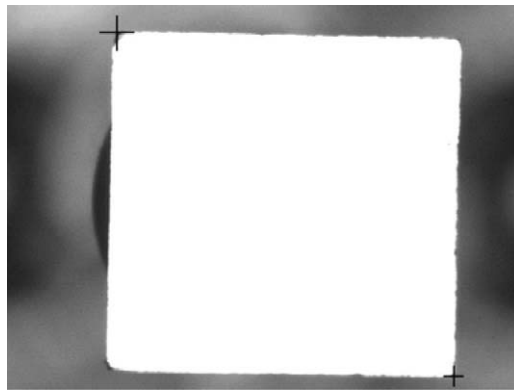


図6.作業員による位置指示

結果としてこの支援機能は装置の立ち上げ作業時に画像処理によるトラブルで他の作業が進まないといった事がなくなり、立ち上げ期間の短縮にも役立った。

2.3 立ち上げ支援

装置のデバック作業などに時間を要しているのは、動作を行わせているときに問題が起きたとしてもどの部位で問題が発生しているのか的確な把握ができない事が多いからである。そこで装置の問題点や不良発生時の原因究明を的確に行えるように、装置に関する各種データを全て収集する。収集するデータは、接合プロセスの情報、ロボットの位置情報、部品や接合品の画像などである。データの収集方法にあたっては、コントローラなど生産におけるクリティカルな部分を担当している装置に負荷を与える事が無いこと、データを収集する装置の配置の自由度を持つことを考慮した。そこでシステムとしてはEthernetを介してUDP/IP及びTCP/IPによりネットワーク経由でデータの収集を行っている。収集したデータをデータ表示解析機能として、生産品毎の情報や、各装置データの長期的なトレンド情報を表示できるツールを作成した。

データを収集する機器によってはEthernetで直接接続できないものもある。例えばRS-232Cしか通信手段を持たない機器はRS-232C - Ethernet変換装置を用いることにより、Ethernetによる接続を実現している。

2.3.1 データ可視化

収集したデータを可視化した例を示す。

図7、図8は時系列データをグラフ化したものである。どちらも同じ時系列データであるが、データのサンプリング時間は異なっている。カセンサなど変化が高速なデータはサンプリング時間を短くしている。一方、温度・湿度のようにそれほど変化が高速ではないデータは、サンプリング時間を長くしている。このように収集するデータの特性毎にサンプリング時間を変えて保存するデータ量の最適化を行っている。

これらのグラフは1作業分の例であるが、最大最小値を求め、1日/1月/1年といった単位で作業数分のグラフを見ることが

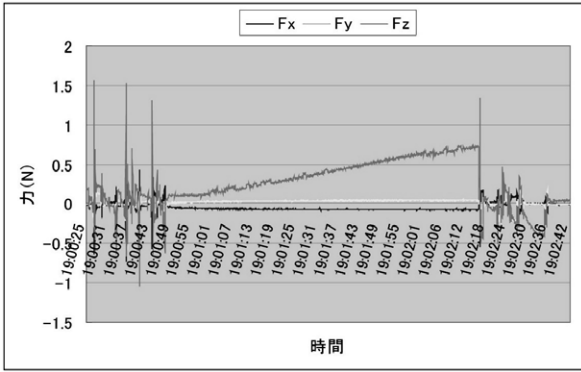


図7 .力センサ時系列グラフ

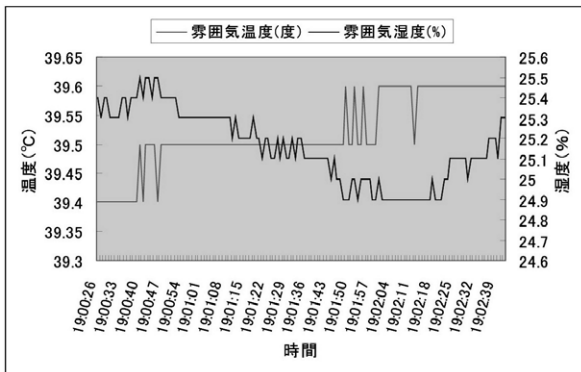


図8 .雰囲気温湿度時系列グラフ

ができる。これによって経時変化を直感的に理解することや、装置の状態変化を知ることができメンテナンスを行う必要が有る機器を見出すことが容易になる。

また図9は装置の詳細な作業工程を作業時間チャートとして表示したものである。たとえば ロボットが地点Aから地点Bへ移動した場合 移動にかかった時間を1工程として表示している。また シリンダーの動作指令から動作完了までの時間なども1工程として表示する。

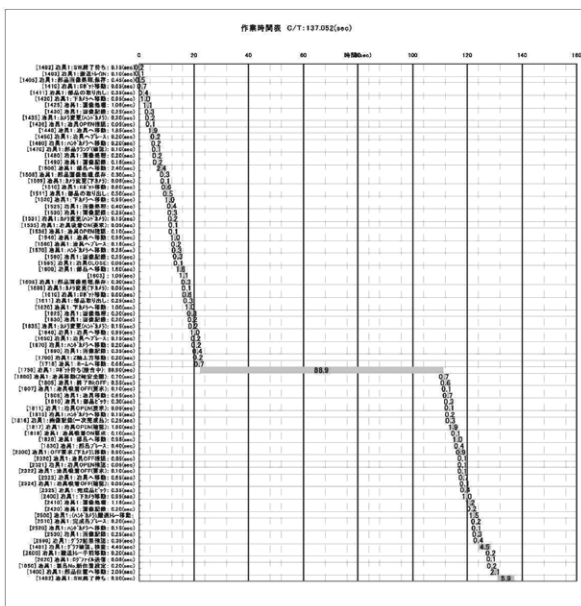


図9 装置の詳細な作業時間チャート

この作業時間チャートによってサイクルタイム(C/T)や詳細な工程ごとの動作時間を容易に確認することができる。これによ

り装置立ち上げ時に目標のC/Tを達成させるためにどの工程に時間がかかっているか把握する事ができ改善点が明確となる。また 生産稼働時はC/Tの変動や工程毎の動作時間が変化したなど機器異常の把握や自動判別に使用することができる。

2.4 教示支援

従来の教示作業では ハンドと部品が接触したかどうかの確認が難しい。またハンドに力センサが設置されている場合は、その値をオシロスコープ等の測定器か 又はモニタに表示させて確認する方法がある。この場合 教示作業は教示装置と測定器の両方を同時に使用して行うことになるため操作性が良くない。

そこで力センサの値を教示装置の表示エリアにリアルタイムに表示するようにした。表示形式は単なる力の数値表現ではなく直感的な視認性を高めるため記号表示とした。例えば 図10に示すように+10~20%を“>”、20~-10%を“<”の様に記号変換して表示する。

また2.1項の力制御機能があるため誤った教示操作を行っても部品やロボットハンド/ 治具を破損することはない。

これにより 教示作業での操作性が高まり作業時間の短縮が可能となる。

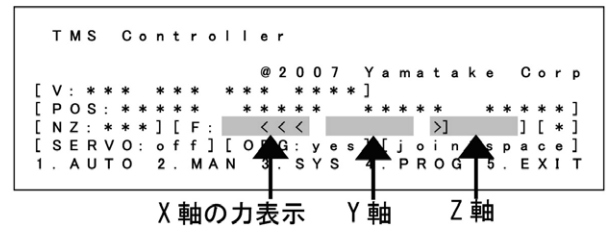


図10 教示装置の画面例

3 実証装置

MEMSの組み立てに関する課題に対して欠けを防止する力制御、位置決めのための画像処理、作業者による画像処理支援、データ可視化、教示支援といった技術開発を行った。これら技術を陽極接合工程を対象に実証する装置を開発した。本章ではこれについて述べる。

3.1 陽極接合について

まずは陽極接合の概要について簡単に述べておく。陽極接合はMEMS部品同士(シリコンとガラス)の接合に用いられる工程である。この工程では互いの接触面を平滑に処理し、それを密着させ、高温に加熱して高電圧を印加することで接合を行う(2)。図11にこのプロセスをモデル図で示した。接合の界面では静電引力が発生して密着し分子間の距離が縮まり、この界面では近接したSi⁺とO²⁻が化学結合しSiO₂が生成されて陽極接合される。

このプロセスは部品を高温に加熱する必要があるため高温の治具に部品を置いて伝熱で加熱する。ロボットの教示位置を常温時で行えない場合、高温時は線膨張係数による部材の寸法変化によって位置が変わっている。そのため接合する部品の位置がずれる一要因となっている。

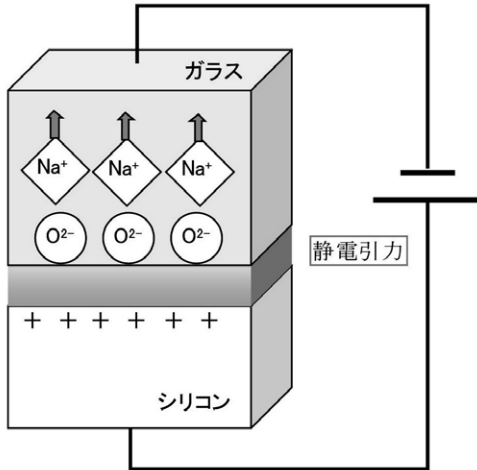


図11 .陽極接合プロセスのモデル図

3.2 装置の概要

次にこの装置の概要について述べる。
装置の仕様を表1 概略図を図12に示す。

項目	仕様
部品	シリコンチップ ガラスチップ
組立精度	± 0.03mm
部品サイズ	1mm ~ 10mm
寸法	W700 × D1100 × H1900mm
ロボット	スカラ型4軸
部品ハンドリング	真空吸着式
カセンサ	3軸
画像認識精度	± 0.01mm

表1 .装置仕様

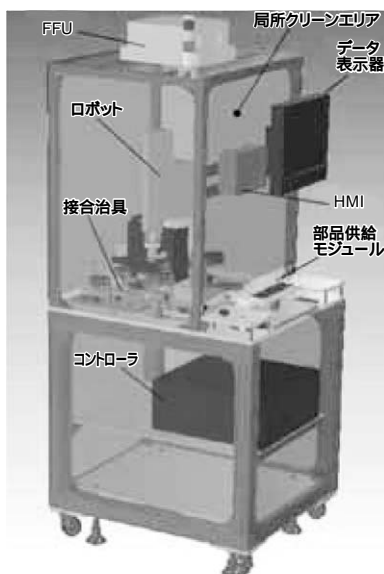


図12 .装置概略図

本装置は、

- 部品を搬送するロボット
- 接合を行う治具

- 部品を供給するためのモジュール
- 作業者が装置を操作するためのHMI
- 画像処理支援および収集したデータを表示するモニタ
- 部品位置を認識するための画像処理システム
- およびこれらの制御を行うためのコントローラ

などで構成される。装置の上半分はカバーで覆い、上部に設置したFFUにより装置内を局所クリーン環境にしている。1章で課題として挙げたゴミの付着問題は、この局所クリーン環境によって近くに作業者がいても付着を防ぐことができる。

ロボットはXYZ方向とZ軸回転方向の自由度を持つスカラロボットを適用した。スカラロボットには吸着によってハンドリングすることが可能なハンドを付けている。またロボットハンドにはカセンサを取り付けている。

装置のシステム構成を図13に示す。ロボットの制御は図中のコントローラが行い、その他の装置構成要素(接合治具、部品供給モジュール、HMIなど)はPLCで制御を行っている。コントローラとPLCは通信によりコマンドとデータをやり取りしている。画像処理装置とデータ収集&可視化装置も同じく通信でコントローラと接続されている。

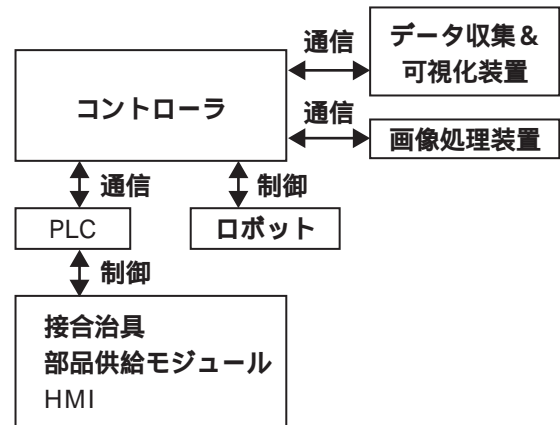


図13 .システム構成

3.3 実証結果

この装置を用い、陽極接合試作を行ったところ従来の装置と比較して以下の効果を確認できた。

- 初期から高い歩留まり率(欠け、組立精度、異物付着)を実現できた
- 立ち上げ期間が短縮できた

4 おわりに

欠けを防止する力制御、位置決めのための画像処理、作業による画像処理支援、データ可視化、教示支援といった技術の実証として陽極接合工程の自動化装置を開発した。これら技術の中で力制御は人の感覚、画像処理は人の目にあたる機能である。また作業による支援は人が機械を助ける機能であり、データ可視化や教示支援は機械が人に対して補完する機能である。このような機械と人のコラボレーションが今後の自動化のキー技術であり、山武グループの理念である「人を中心としたオートメーション」を実現するための技術開発を重点的に行っていく。

参考文献

- (1)新編画像解析ハンドブック(2004)
- (2)セラミックス接合とハイテくらう付 p73-74 産業技術サービスセンター(1987年)
- (3)Siマイクロマシニング先端技術 サイエンスフォーラム(1992年)

著者所属

原田 豊	生産技術開発部	自動化技術グループ
樋口 数一	生産技術開発部	自動化技術グループ
金原 圭司	生産技術開発部	自動化技術グループ
小黑 直輝	生産技術開発部	自動化技術グループ
別府 永志	生産技術開発部	自動化技術グループ