

人間の機能を融合した自動化技術の展開 光電センサ生産ライン自動化技術

Report on New Automation Technologies Incorporating Humanlike Abilities, with Results of Testing on a Photoelectric Sensor Production Line

アズビル株式会社
技術開発本部基幹技術開発部

原田 豊
Yutaka Harada

キーワード

コンプライアンス, ビジョン, 光電センサ, 自動化

人の手の能力を機械化したアクティブコンプライアンスデバイスと人の目の能力を機械化したサーボビジョンシステムを開発した。それを光電センサ HP7 シリーズの生産ライン自動化設備に適用して機械化された能力が従来の自動化設備と比較して品質/コスト/デリバリの点で効果が得られることを実証した。この技術をさらに人の能力に近づけていくことで国内生産の回帰や海外生産での自動化の礎を築いていく。本論文でその技術と実証状況を報告する。

We have developed an active compliance device which mimics some of the abilities of the human hand, and a servo vision system which mimics some of the abilities of the human eye. These technologies were tested as part of automated equipment on the production line of the HP7 photoelectric sensor. In comparison to conventional equipment, the automated equipment was more effective in terms of quality, cost, and delivery. Making these technologies more humanlike may assist in goals such as the recovery of domestic production in Japan and the automation of overseas production. This paper describes the technologies and the results of testing.

1. はじめに

人を中心としたオートメーションの探求に向けて、融合/自在/進化/調和/快適の5つの戦略技術を定めている。この中で、融合とは人と機械の融合システム技術で、人の手の器用さや視覚認識能力などを取り入れた知的生産システムを目指している。また経験値に基づく柔軟な対応能力を持つ熟練作業者の知識やノウハウを機械に融合して機械の知能化システムを目指している。これらを実現するために、人の手と目の能力を機械化する技術にフォーカスして開発している。

手の能力として、熟練作業者の手の感覚、柔らかさの認識、やさしいタッチなどがある。また品質の確認を手探りで行うノウハウ的な動作もある。

目の能力として、物の3次元を含む位置の認識の他に、良否の識別、傷や凹みなどの認識、変化の認識などがある。

本論文では手の能力を機械化するアクティブコンプライアンスデバイスと目の能力を機械化するサーボビジョンシステム、そしてそれらを光電センサ生産ラインへ適用した結果について述べる。

2. これまでの自動化事例

当社がこれまでに開発した自動化技術の事例を紹介する。

図1は1980年代に開発した自動化ラインである。パー

ツフィーダを用いた部品供給、ロボットによる組み立て、コンベアによる部品搬送で構成された全自動化ラインであった。この頃はロボットや機械要素があまり市販されていなかったため、ロボットを含めて多くの要素を自社開発した。

部品供給はパーツフィーダを用いているため部品形状が変更となると生産を止めて対応する必要があった。



図1. マイクロスイッチ自動化ライン

図2は1990年代の自動化ラインである。個々の設備は自動化されているが設備間の部品搬送は人が行う着々ラインとなっている。多品種少量生産とラインレイアウトの自由性からコンベアを用いていない。技術的には、直交型6軸ロボットと力センサを用いたコンプライアンス制御⁽¹⁾を初めて組み立て作業に適用した。力制御で変形を伴う基板や樹脂部品の組み立てを行うことが可能となったが、減速器やロボットの機械的剛性を制御システムにモデル化することが難しくコンプライアンス制御の精密さに課題があった。



図2. 指示調節計自動化ライン

また、この頃は小型の表面実装チップマウンタやリフロー検査機を内製する上で、テープフィーダから吸着したチップ抵抗などを所定の位置に搭載するための、また

リフロー後の半田検査を自動で行うための画像処理技術を開発した。以降、力センサを用いた力制御技術、画像処理技術を圧力センサパッケージングラインなどに適用⁽²⁾して技術の向上を進めてきた。

3. 生産ラインの環境変化と課題

ところが2000年代になると、組み立てラインの一部は中国に移転された。これは低賃金や人海戦術による設備投資抑制によってコストメリットがあったが、わずか10年で賃金は2倍⁽³⁾から推定に高騰し、離職率増加による人材流動の激化、最近の日中関係の悪化など中国での生産を取り巻く環境変化によってメリットが薄れてきている。また自動化技術力の停滞と自動化設備の管理能力の低下が懸念されてきている。

今後、国内や海外を問わず安定した生産を実現するには品質・コスト・デリバリのいわゆるQCDに関係する工程は自動化が重要と位置付け、新たな技術開発を進めている。その着眼点が人の手と目の能力の機械化である。人での組み立て作業は部品の変化によらず柔軟に対応することができ、また品質チェックでは細部にわたって行うことができるため不良率を低く抑えることができる。しかし、熟練作業を伴う作業は作業時間のばらつきを生じ、また検査レベルのばらつきも生じる。これを安定させるためトレーニングや2人作業によるダブルチェックといったコストを生じさせている。一方、従来のオープンループ的な自動化技術では部品の変化に対応することが難しく、位置決め制御のみによる組み立ては部品のばらつきに対応することが困難で、検査も行われず組み立て作業が進むため不良をつくり込んでしまう。

そこで、人の手と目の能力を機械化した技術を適用することによって、部品や環境の「変化への対応」を容易にし、また品質をつくり込んだり検査の自動化で不良の流出を防止したりと「不良をつくらない」ができるようになる。さらにこれら技術をプラットフォーム化することで設備への適用を容易にして設備投資の抑制に貢献する。結果、生産の工程能力が安定するため顧客へ滞りなく提供することができる。次章では、この機械化技術について述べる。

4. 人の手と目の能力の機械化技術

2章で述べた様に、コンプライアンス制御とビジョン技術の開発を行ってきた。これら技術はそれぞれ手の能力（触覚）と目の能力（視覚）に該当する。しかしそれぞれ下記の課題がある。

(1) コンプライアンス：

- ・力センサが高価で、かつ高剛性構造により過負荷に対して破損し易い。

- ・減速器の摩擦やガタ、ロボットの機械剛性によって数N以下レベルの精密なコンプライアンス制御は難しく、また応答性がよくない。

(2) 画像処理：

- ・画像処理アルゴリズムの開発は多くの開発工数を要する。一方、市販のソフトウェアライブラリがあるが、その処理を適切に実行させるプログラミングが必要である。
- ・画像処理のプログラミングは専門化の知識やノウハウが必要である。

以上を鑑み、新たに開発したアクティブコンプライアンスデバイスおよびサーボビジョンシステムについて述べる。

4.1 アクティブコンプライアンスデバイス

人の手の能力（触覚）を実現するデバイスとして開発しているアクティブコンプライアンスデバイス⁽⁴⁾⁽⁵⁾は下記の特長がある。

- (1) 力センサを用いず、制御アルゴリズムで作業力を推定する。
- (2) 内蔵する位置センサの出力をフィードバックすることによりコンプライアンスデバイス単体でコンプライアンス、力制御のほか、速度や位置の制御も可能である。
- (3) 位置や速度信号の時系列的変化から組み立て作業の良否を判定することができる。
- (4) 単軸、軽量ダイレクトドライブモータのシンプル構造のため高速応答が可能で、かつ堅牢である。

アクティブを冠している所以は、外力に倣うだけのパッシブコンプライアンスと異なり、柔らか動作のほかに自ら位置を変化させて作業品質や速度を向上させたり、検査のための動作を行ったりすることを目的としているからである。

このアクティブコンプライアンスデバイスを生産設備に導入した結果、組立品質が向上し、かつサイクルタイム短縮化に貢献できた。また減速器を用いない軽量ダイレクトドライブモータと制御アルゴリズムによって1N以下の力制御を実現し、かつ高速に行うことを可能としている。なお制御自由度は1のみであるが、次に挙げる多くの作業に適応可能である。チップ部品搭載、部品ピック&プレース、接合、半田付けコテ接触、シール貼り、ネジ締めなど。このデバイスを3軸に配置すれば3自由度のアクティブコンプライアンスデバイスになる。従来のRCC（リモートセンタコンプライアンス）に代表されるバネやゴムなどを用いたパッシブコンプライアンスデバイスは作業に合わせて柔らかさなどの特性を変更することができない。また従来の力センサを有するロボット（最近では力センサレスもある）は前述レベルの微小力制御や応答性の課題がある。開発したアクティブコンプライアンスデバイスはパッシブコンプライアンスや力センサを用いたコンプライアンス制御ロボットの長所を併せ持ったものとなっている。

図3にアクティブコンプライアンスデバイスの外観を示す（ロボットの手先に付け、エンドエフェクタに電動ハンドを装着している）。図4にはその構造を示す。駆動源にボイスコイルモータを、単軸スライド部はリニアシャフトを用いている。位置センサには当社製スクリーンファイバ HPF-T021Tとアナログ出力光電アンプ HPX-MA を用いた。また図3や図4には無いが制御を行うコントローラとして、当社製計装ネットワークモジュールNXをベースに新たに開発したアクチュエータ制御基板を装着し、リニアアクチュエータ制御アルゴリズムを実装して動作させている。PLC（プログラマブルロジックコントローラ）との通信インターフェースはイーサネット（UDPプロトコル）を用いている。

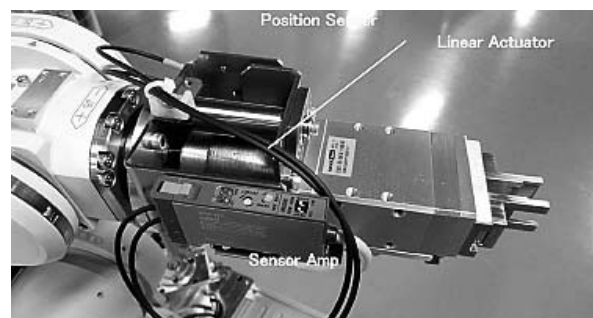


図3. アクティブコンプライアンスデバイスの外観

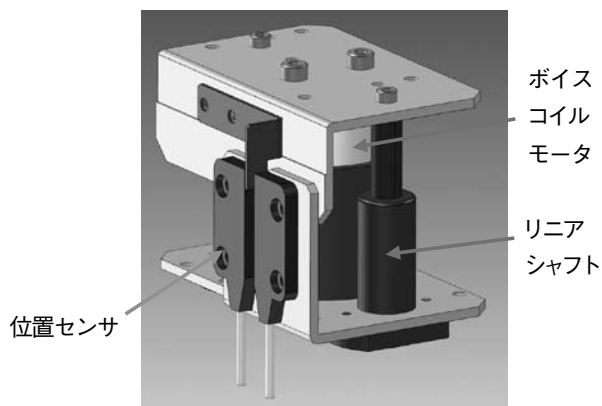


図4. メカ構造図

図5はリニアアクチュエータ制御のブロック図である。この図に示すとおり組み立て時の力は外乱オブザーバーで推定可能であるが、精度と計算負荷の面で課題がある。ここで外乱オブザーバーの入力は駆動電流 I (S) と速度 V (S) であり、推力指令値 E (S) が一定の場合は駆動電流 I (S) も速度 V (S) の影響だけを受けるため、作業中の外乱の変化は速度の変化として表れる。したがって作業中の速度の変化を監視すれば、外乱オブザーバーの計算を行うことなく作業状態を推定できる。これをスナップフィット組み立てのようなパッチンと嵌る組み立て良否判定の一手段として用いている。

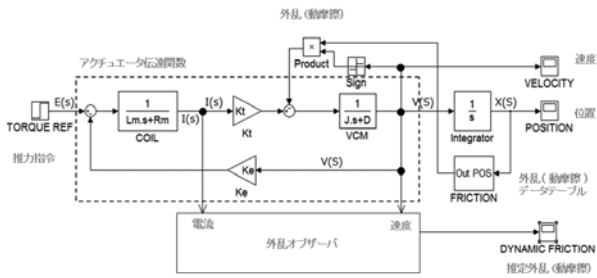


図5. リニアアクチュエータ制御ブロック図

コンプライアンス／速度など各制御モードの細やかな変更，組み立て作業の良否判定機能が「不良をつくらぬ」に貢献している事例を5章で示す。

4.2 サーボビジョンシステム

人の目の能力（視覚）を実現するためサーボビジョンシステムを開発している。特長を下記に示す。

- (1) 画像処理ライブラリは市販品を利用し，画像処理関数の組み合わせや処理パラメータの演算アルゴリズムは独自に開発している。
- (2) 処理の共通化を行い，アルゴリズムの集約およびパターン化を行い処理の開発を容易にする。
- (3) 画像処理 H/W と画像取得 H/W は切り離せるソフトウェアモジュール構造となっている。

サーボを冠している所以は，画像で捉えた部品などの状況に応じて対応する動作を行わせることを目的としているからである。例えば，半田付けで半田が溶けるのを認識して糸半田供給のタイミングを適切に制御することが実現できる。

人は作業する時に部品の状態，位置，組み立て後の状態を確認している。これを機械化するため使い易いビジョンシステムを開発している。構成は，画像処理 H/W，画像取得 H/W（画像処理 H/W と同居可能），画像処理ライブラリ，そしてライブラリを使用して能力の機械化を実現するアルゴリズムプログラムで構成される。複数の画像取得 H/W が共通の画像処理 H/W を利用できる様にして H/W の投資を抑制している。

PLC はイーサネット（TCP プロトコル）で処理コマンドを送信し，画像処理結果（例えば部品の位置）を受け取ることができる。

部品認識，ピック&プレース，組み立て作業，検査で同じような処理手順が可能な場合は認識処理アルゴリズムを共通化している。ほとんどの処理はパターンマッチング法を用いているため，部品形状や寸法などの「変化への対応」はパターンの再教示のみで対応することができている。部品供給や組み立ては部品の位置，姿勢，表裏や形番情報を用いた部品照合を行い，間違った部品の組み立てを防止している。また検査ではフォトメトリックステレオ法を用いて立体形状で良否判定を行っていて「不良をつくらぬ」に貢献している。これらの事例を5章で示す。

5. 光電センサ生産ラインへの展開

図6は光電センサ生産ラインの外観である。この生産ラインで2012年1月に販売が開始された光電センサHP7（図7:光電センサHP7シリーズ）を生産している。



図6. 光電センサ生産ラインの外観

このセンサは様々な検出ニーズに対応するために豊富なバリエーションがあり，多品種型の製品である。また従来は感度調整用ポリウムで ON/OFF 出力のしきい値調整を行っていたが，これを操作ボタンでできるようになっている。組み立て工程の観点からすると歯車部品の組み立てが削除されたため自動化し易い構造となっている。



図7. 光電センサ HP7 シリーズ

部品は，アンプ部の基板，出力用のケーブル，ゴム製のボタン，取付ねじ部の金属スリーブ，レンズやケースなどの樹脂部品で構成されている。これらを組み立てる工程の自動化に，人の手の能力（触覚）の機能を実現するアクティブコンプライアンスデバイスと人の目の能力（視覚）の機能を実現するサーボビジョンシステムを適用している。本章でいくつかの事例を述べる。

5.1 アクティブコンプライアンスデバイスの適用

図7に示されているケースとフレーム部品はスナップフィット組み立てとなっている。人が手で作業した場合、爪が溝の手前の壁を乗り越えるとパッチンという感触や音で組み立てが成功したことが認識できる。これをアクティブコンプライアンスデバイスで行わせると位置や速度の変化は図8の波形のようになる。この変化から組み立て作業の良否判定を行うことが可能である。さらに確実な検査として人が組み立て後に引き抜き作業を行って爪が甘く引っ掛かっていないか確認するのと同様に、アクティブコンプライアンスデバイスが能動的な動作によって引き抜き検査を行っている。なお速度制御→接触検出→力制御→組み立て判定→引き抜き動作→最終良否判定までの時間はわずか0.6秒弱である。このアクティブコンプライアンスデバイスの高速応答性を生かしてサイクルタイム短縮にも貢献できている。

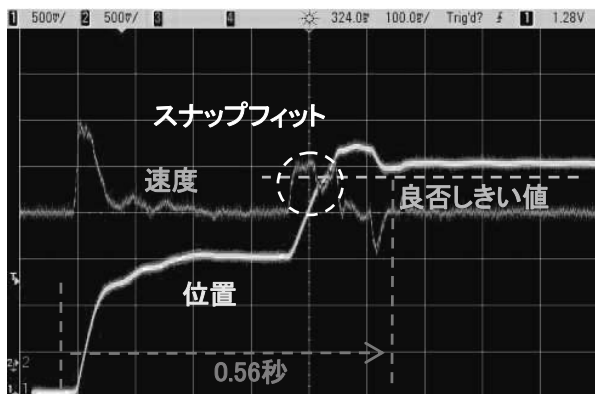


図8. スナップフィット組み立て時の位置と速度

その他、レンズ接着や半田付け工程などでもアクティブコンプライアンスデバイスを用いており、接触速度や位置、作業力を適応的に制御、検知することにより気泡巻込み、半田ボール飛散、部品未接触／過負荷接触、スナップフィット組み立て失敗などの不良を抑制している。

5.2 サーボビジョンシステムの適用

部品の多くは樹脂部品であるが、そのほとんどは傷などを避ける理由から図9に示すような部品トレイに並べられた状態で供給される。このトレイに部品を入れるのは人が行っているが、向き／表裏／種類などが間違っている時がある。画像処理を用いることによってこれを認識し、ピック動作に補正を掛けたり無視したりして間違った部品の組み立てを防ぐことができている。

一方、ケースなど一部の部品は袋から取り出し平置きに並べて供給できる部品がある。図10はこの平置きができる部品供給装置である。ビジョンで部品の向きや表裏を認識し、それをロボットがピックする。

他の事例として半田検査を述べる。半田コテを用いた半田付けは、不良モードとして半田濡れ不足、未半田、

ツノがある。濡れ不良や未半田は2次元的な画像処理で判別可能であるが、ツノは出っ張り部を3次元的な測定を行い認識する必要がある。そこでフォトメトリックステレオ手法を用いた画像処理関数から復元された立体データを用いて、出っ張り部をサーチするアルゴリズムを開発した。これによりツノの検査も可能となった。

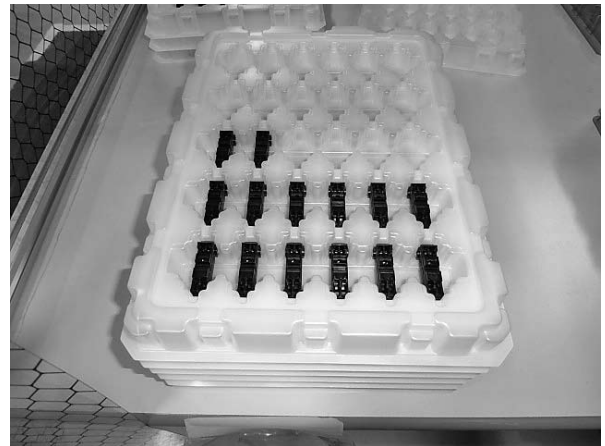


図9. 部品トレイの一例



図10. 平置き部品供給装置

6. おわりに

人の手の能力を機械化するコンプライアンス技術が「不良をつくらない」に貢献し、人の目の能力を機械化するビジョン技術が「変化への対応」「不良をつくらない」に貢献することが光電センサラインへの展開で実証することができた。

今後は、アクティブコンプライアンスデバイスの完成度向上、サーボビジョンシステムの使い勝手向上や処理のリアルタイム性の向上等で更なる融合技術の発展を行っていく。

なお、開発したコンプライアンスデバイスはサンプルデモ品の貸し出し評価を企画している。興味がある読者は広報グループを通じて問い合わせ願いたい。

<参考文献>

- (1) 原田豊：Development of Intelligent Automated Assembly Technique, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1995年5月
- (2) 原田豊, 樋口数一, 金原圭司, 小黑直輝, 別府永志：7. MEMS 組立装置の開発, azbil Technical Review, 2007年12月発行号, pp.42-47, アズビル株式会社
- (3) 世界の統計, 第12章労働・賃金, 総務省統計局
- (4) 川瀬茂, 津村高志, 小黑直輝：11. アクティブ・コンプライアンスデバイスの開発, azbil Technical Review, 2009年12月発行号, pp.62-67, アズビル株式会社
- (5) 川瀬茂：コンプライアンスデバイスを用いた嵌め合い作業状態推定法と組み立て作業への応用, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2012年5月, 日本機械学会

<商標>

イーサネットは、富士ゼロックス株式会社の登録商標です。

<著者所属>

原田 豊 技術開発本部基幹技術開発部