

組立ライン開発における標準化設計

Standardizing Design of Automatic Assembly Lines

古矢 正明
M. Furuya

小川 裕之
H. Ogawa

浜中 国雄
K. Hamanaka

近年、精密機器の自動組立ラインでは、製品の小型化への対応とともにリードタイムの短縮と低コスト化の要求が高まっている。そこで、組立装置設計において、機種変更に合わせて変化する変動部と、そのまま使用できる固定部に装置を分ける固定分離の手法を用いた。ここでは、この手法を紹介し、また固定部として開発した手作業組立ラインの一人分の作業と同幅な小型組立ユニットを紹介する。さらに、変動部としてこの組立ユニットに使用できる薄型の部品供給機と、はめ合い組立に有効な倣い挿入ハンド、およびトルク制御ねじ締め機についても紹介する。これらの開発した要素は、2.5インチ HDD (Hard Disk Drive) 自動組立に使用している。

Automatic assembly lines for small precision instruments are currently requiring drastically shorter lead times along with the reduction of costs. To realize these requirements, we established a set of effective techniques and applied them to the design of assembly machines.

This paper introduces the techniques, by which the assembly machine is divided into those parts requiring change and those parts that do not require change for switching between the production of different products. The new assembly unit was developed to fit into the space equal to the work space of one manual assembly worker.

In addition, three interchangeable tools for the unit are introduced: a mechanism for feeding thin parts, a floating mechanism for the fitting hand, and a screwdriving machine that incorporates torque control. These elements are being used in an assembly line for 2.5-inch hard disk drives.

1 まえがき

情報機器の小型化と高性能化が、近年急激に進んでいる。これは、回路部品や実装基板、液晶パネル、バッテリー、HDDなどの要素部品の小型化と高性能化が進んでいるためである。これらの要素部品の製造工程では、新しい生産技術の開発や高い生産性の製造設備開発が行われている。

これらの要素には HDD のように精密機構をもっている要素部品がある。クリーンルーム作業に加えて部品の小型化により作業が難しくなっている。さらに、数か月ごとの新製品への切換えや、生産量変動への対応、製造コスト低減など多くの課題を抱えている。ここでは、今後増加が予想されるこのような小型精密機器のクリーン組立に適した自動組立ラインの設計思想と、これに基づいて開発したユニットを紹介する。

2 組立作業の自動化

小型精密機器のクリーン組立作業について、作業ラインに要求される項目をまとめると表1の左側ようになる。これらに対するこれまでの手作業組立ラインと自動組立ラインの

表1. 組立ラインへの要求と対応方法の比較
Comparison of two assembly lines

組立ラインへの要求項目	手作業ライン	自動化ライン
精密化への対応 高精度化 クリーン化	●作業ばらつき存在 ○熟練による改善 ●防じん服作業	○品質の安定 ●複雑作業の能力不足 ○クリーン機器の利用
リードタイムの短縮 機種変更への即応性 急しゅんな量産立上がり	○人の配置変更 ○指示で柔軟に対応 ●熟練には期間	●機構・構成変更期間 ●作業確認に時間 ○確立後は即応
量変化への対応	・残業対応の範囲 ●人の増減で対応	○時間の延長・短縮 ・設備の増設・停止
組立コストの低減	●人件費の削減	●製造設備の低コスト化

○：対応しやすい項目 ●：対応しにくい項目 ・：どちらでもない項目

対応を考えると、右側ようになる。両者を比較して、今後の方向を考える。精密化に対しては、製品設計で組立作業を単純化して自動化することで、品質の安定を図るのが良い方向と言える。リードタイムの短縮に対しては、人のほうがフレキシビリティの点で勝っており、自動組立は対応策の検討が必要である。しかし、量変化やコストの低減に対しては手作業組立ラインは対応しにくく、自動組立に期待がかかる。

よって、これまでの自動組立ラインにリードタイム短縮と低コスト化の対策を施すことが、小型精密機器のクリーン組

立作業に適したラインを実現する方法と言える。

3 標準化の思想

リードタイム短縮と低コスト化を実現する自動組立には、製品の機種変更に対しても継続して使用できる部分を標準化する方法がある。プリント基板実装機の分野では、部品をハンドリングするツール部の交換や切換えで変更に対応する手法がこれまでも取られており、異形部品と呼ばれる特殊形状部品の組立にも使用できる組立セルも開発されつつある。

しかし、機器組立では部品の供給方法、組立てる方向や方法、締結方法などが多種多様にあり、組立装置の標準化は、これらも含めたライン全体として検討する必要がある。

ここでは、機種変更に合わせて設計変更する必要がある部分を変動部と呼び、またそのまま再利用できる部分を固定部と呼び、装置をこの二つの部分に切り分ける固変分離の考えかたを用いた。まず部品供給を含めた組立ライン全体を、固定部の比率をできるだけ大きくするようにした。次に固定部を作業工程単位に標準設計し、変動部との接続部を標準化した。また、固定部は手作業組立ラインでの一人分の作業と同じ装置能力で、かつ一人分の作業幅と同じ幅で設計した。

固定部比率を大きくすることで、機種変更による対応や開発を変動部に小さく限定できる。また、機種変更に対応する変動部を事前に開発し評価しておくことで、機種変更時の立上りを早めることもできる。固定部の標準化は製造コストを低減でき、機種変更時の工程の追加や並べ換えに対し柔軟に対応できる。さらに、装置幅を人の作業に合わせることで、手作業ラインと同じ長さで自動化ラインができることになる。このように、組立ラインとして固変分離の考えかたに基づいた自動化装置の開発は、従来の自動組立ラインの利点に加えてリードタイム短縮と低コスト化、省スペース化が可能になる。次に、この考えかたで開発した固定部を紹介する。

4 小型組立ユニットの概要

今回開発した小型組立ユニットの仕様を表2に示し、外観を図1に示す。装置は、クリーンルームで着席して組立作業するときに取りられる一人分の作業幅の90cm幅の架台に、2台の直交ロボットを組み合わせて設置している。

クリーンルームでの精密なはめ合い組立やねじ締め作業を行う場合、ロボットの作業能力は人に比べて約1/2である。一方、製品寸法が小さな精密機器の組立では、1工程を45cm幅にしても作業スペースは十分取れる。そこで、90cm幅の架台に2台のロボットを置いて2工程の作業を行う装置にして、人と同じサイズと能力の自動化を実現している。

このユニットは前面の上下にコンベアを設置でき、数台並べて前後にパレットエレベータを配置すれば、作業パレット

表2. 小型組立ユニットの装置仕様
Specifications of assembly unit

項目	仕様	
架台寸法 (mm)	900(幅)×1,000(奥行)	
ロボット	形式	直角座標型
	設置台数	2台
	動作範囲 (mm)	250(X)×250(Y)×100(Z)
	位置決め精度 (mm)	±0.03
パレットサイズ (mm)	200×240	
コンベアサイズ (mm)と台数	900×2台	
クリーン度	クラス 35 以下	

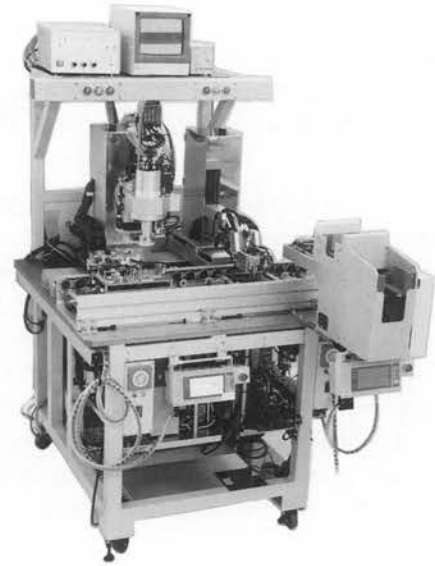


図1. 小型組立ユニット 90 cm 幅に2台の組立ロボットと搬送コンベアを装備した組立ユニット。

External view of assembly unit

が循環する製造ラインになる。ロボットの増設や取外しも容易にできる構成である。もし一人分の作業を2台のロボットに分解できない工程が発生したら、90cm幅のコンベア付き専用組立装置を開発して、ロボットの代りに組み込むことも可能である。さらに、現在の自動化技術では機械化が難しい作業や、万一装置トラブルが発生したときには、作業員一人分の工程を一人分のスペースで作業しているため、人による手作業工程への置換えも可能である。このように、この組立ユニットは固定部分であるが、組立ラインとして大きなフレキシビリティをもっている。

この装置では、ロボットの機能は、アーム先端に取り付ける作業ハンドの位置決めに絞っている。細かな作業動作は変動部であるハンドに任せて固定部の機構を単純にし、省スペースと低コストを実現している。また、ロボットの駆動機構部が作業パレットから離れるようにロボットアームを配置しており、クリーンコンベアとの組合せで、クリーン組立作業にも十分使用できる構成に設計している。

5 作業ツール

固定部を単純な機能で標準化したことで、さまざまな作業に適した作業ツールを開発することが重要になる。また、1工程を45cm幅に抑えてクリーン組立を行うこの装置では、省スペース作業ツール開発が標準化思想を完成させるかぎになる。ここでは、部品供給、組付け、締結の各技術に関して、開発した作業ツールを紹介する。

5.1 部品ストック

組立装置の幅を狭くするためには、部品を供給する装置の幅を組立装置より狭くする必要がある。さらに、作業確認などで人が入れるスペースを確保する必要もある。ねじなどの微小部品は、狭いスペースでも必要な数量を供給することができるが、製品と同程度の大きさの部品を供給するにはくふうが必要である。そこで、図2に示すような供給部品幅にできるだけ近い部品ストックを開発した。

この部品ストックは、専用ケースのスロットに収納されている板状部品用に開発した供給装置であり、コンベアを挟んでロボットの反対側に設置して使用する。ストックは、部品の入ったケースを段積みしてストックし、最下段のケースを取り出して傾斜したピッチ送りベルトコンベアに置く。置いたケースをコンベアで斜め下方に送り、専用の部品取出しハンドでロボットに1個ずつ供給する。ケースがからになると、そのまま下の回収箱に落とす。このように、ケースと部品の送りをコンベアに垂直な一平面で行うため、部品ストックの厚さは、ケース厚さと駆動機構厚さだけになっている。

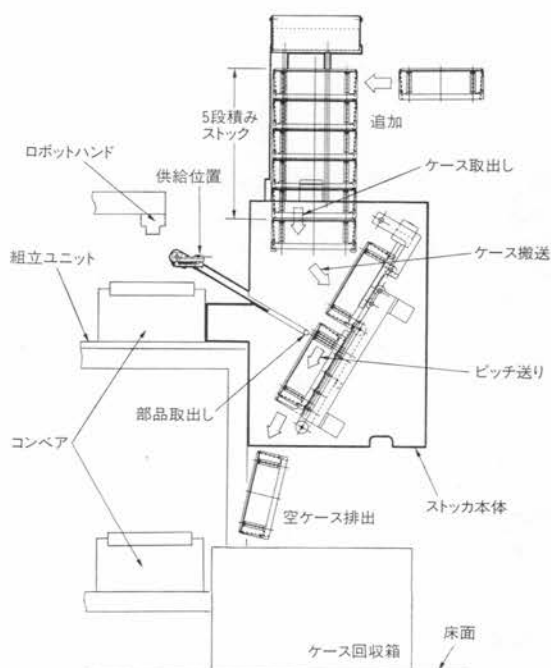


図2. 部品供給装置の構造 積上げ式のストックで、一番下のケースから順番に部品を取り出して供給する。

Configuration of parts feeding machine

5.2 微い挿入ハンド

製品が小型化、高性能化するに伴い、部品のはめ合い組立作業は、はめ合いすき間10 μ m程度で許容できる負荷が2N以下など、組立て条件が厳しくなっている。このような作業は、 $\pm 30\mu$ m程度のロボットの位置決めだけでは精度不十分である。またゴムの弾性変形を利用したRCC⁽¹⁾(Remote Center Compliance)機構による位置補正機構も数N~数十Nの大きな力が作用するために使用できない。ロボットの位置決め精度の向上や、視覚による位置補正、力センサによる力制御などの採用で対応できるが、図3に示すような単純な機構の微い挿入ハンドを開発した。

この機構は、直角に重ねた2個のリニアガイドが、部品を吸着するハンドとロボットアームの間に設置してあり、ハンドが部品挿入方向に垂直な平面で自由に動ける構造になっている。今回開発したハンドは、摩擦の小さなガイドを吸着ハンドの真上に設けて、移動部の慣性を小さくし不必要なモーメントもなくしている。これで、部品の位置補正に必要な力が小さくなり、図4に示すように部品挿入時にお互いの面取り部が当たって生ずる挿入反力が小さくなる。

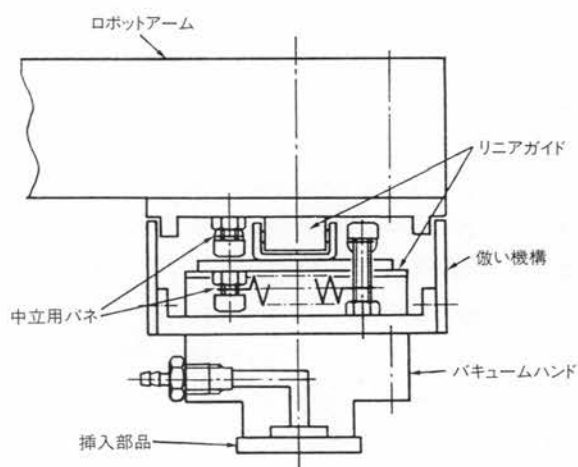


図3. 微い挿入機構の構造 直角に組み合わせた二つのリニアガイドにより、ハンドがスライドして位置ずれを補正する。

Mechanism of fitting hand

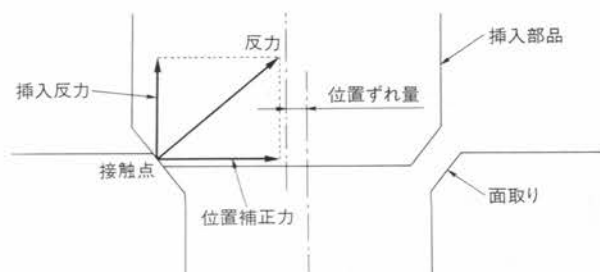


図4. 面取り部の接触で生ずる反力成分 部品の面取り部が接触すると、補正力と挿入反力を生ずる。

Component of reaction

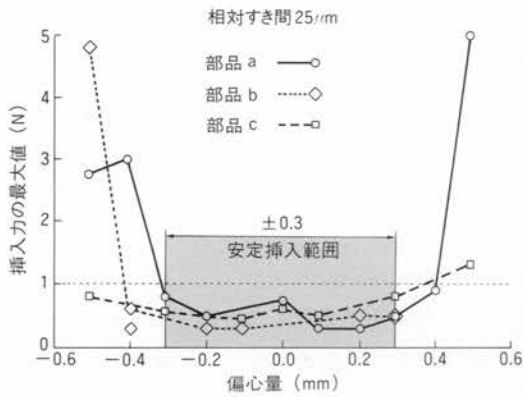


図5. ぬい挿入ハンドによる挿入力の例 25 μm のすき間の部品が ±0.3 mm ずれていても、小さな力で挿入できる。

Typical reaction

このぬい挿入機で部品挿入したときの一例を図5に示す。25 μm すき間の挿入作業で±0.3 mm 位置ずれしていても、1 N 以下の挿入力で挿入できている。構造は簡単だが、破損しやすすい精密部品の滑らかな組立に有効な機構である。

5.3 トルク制御ねじ締め機

部品の小型化で、微小ねじの締め付けトルク管理が重要になっている。また複数のねじで部品を締結するときは、不均一なねじ締めによる部品変形を防止しなければならない。これらのねじ締めに対応できるねじ締め機を開発した。

開発したねじ締め機は、トルクフィードバック制御により±3%の精度で締め付けトルクが管理できる。また、複数本のねじを同期してトルクアップする機能がある。

図6に3本のねじを同期してトルクアップしている例を示す。まず(a)に示すように、各ねじを低いトルク値まで仮締めする。それぞれ仮締めが終了したら、(b)のように3本のねじ締め機が同じ指令に追従して指定トルクまで徐々にトルクアップする。3本の締め付けトルク線図を重ねた合成図に示すように、同期トルクアップが実現できている。

6 組立てラインへの適用

今回開発した組立て要素を組み合わせ、2.5 インチ HDD の自動組立てに使用した。実際の製造ラインへの適用には、紹介した作業ツール以外にも各部品に合わせたツールの開発と検証が必要であったが、標準設計した組立ユニットを接続して自動化ラインを構成している。

7 あとがき

今後も精密小型機器の組立作業は増加すると予測できる。

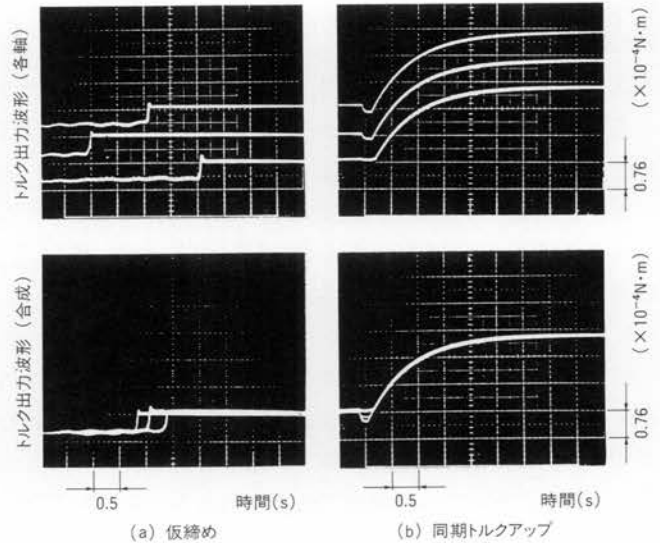


図6. トルク制御ねじ締め機による3本同期ねじ締め (a)で仮締めを終了すると、(b)のように3本を同期させてトルクアップする。

Increasing torque simultaneously on three screws with torque control

今回、固定分離の思想に基づく標準組立ユニットを開発し、合わせて変動部である種々の作業ツールも開発した。ロボット部である固定部を切り分けることは、作業ツールをユニットとして開発することにもなる。これは、将来のライン変更に対する作業ツールの整備と標準化になる。これらの技術の蓄積は、自動化ラインの最大の課題である新製品量産のリードタイム短縮に大きく貢献できるものと期待している。

文献

(1) J.L. Nevins, D.E. Whitney: Computer-Controlled Assembly, SCIENTIFIC AMERICAN, 238, 2, p.62 (1978)



古矢 正明 Masaaki Furuya

1981年入社。自動化機器の装置および要素技術開発に従事。現在、生産技術研究所生産技術企画担当主任研究員。Manufacturing Engineering Research Center



小川 裕之 Hiroyuki Ogawa

1986年入社。自動化機器の装置および要素技術開発に従事。現在、生産技術研究所メカトロニクス開発センター。Manufacturing Engineering Research Center



浜中 国雄 Kunio Hamanaka

1968年入社。ハードディスクドライブの製造技術開発に従事。現在、青梅工場ディスク製造部主務。Ome Works