

# 高生産性と高密度実装に寄与する 「ダイレクトドライブモジュラーマウンダ GXH-3」

Direct Drive Modular Mounter "GXH-3" Contributing to High Productivity and High Density Placement

福島 秀明 Hideaki Fukushima  
臼井 克尚 Yoshinao Usui

竹村 郁夫 Ikuo Takemura  
勝田 重男 Shigeo Katsuta

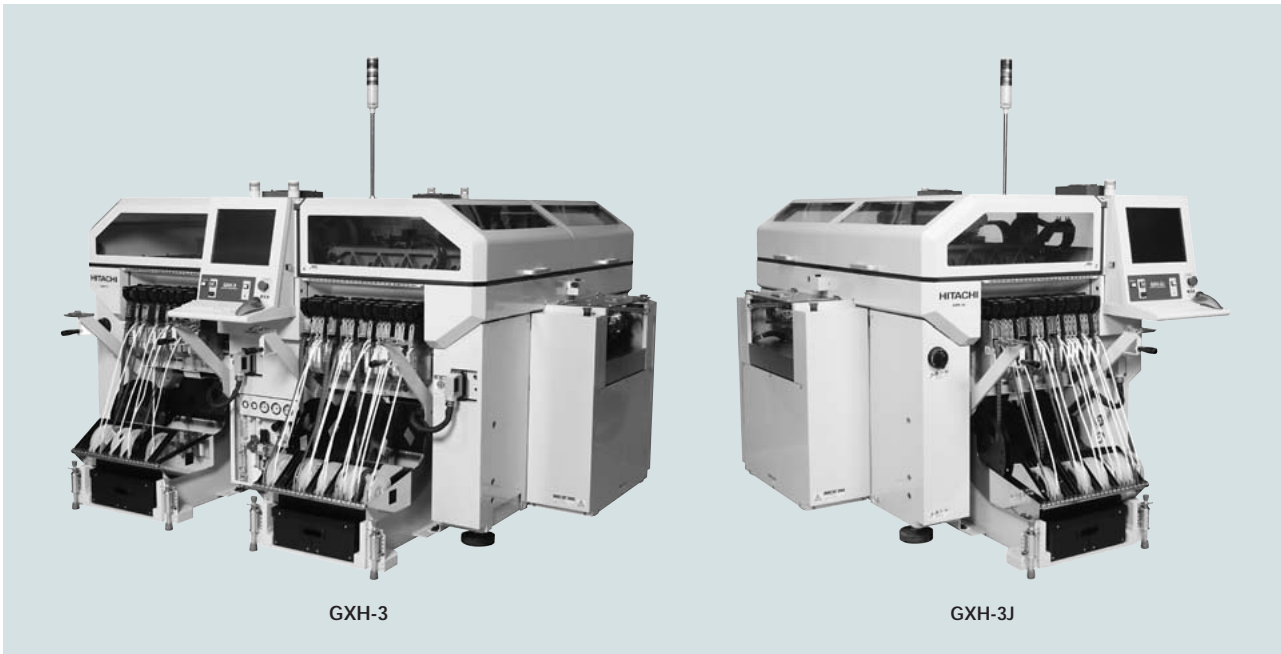


図1 ダイレクトドライブモジュラーマウンダ GXH-3」と GXH-3J」の装置外観

最高スループットを従来比約20%向上した、高速・高精度・高品質実装を提供するダイレクトドライブモジュラーマウンダ GXH-3 (95 Kcph:毎時9万5,000チップ) (左), GXH-3J (47.5 Kcph:毎時4万7,500チップ) (右)を開発し、製品化した。

携帯情報機器を中心に、商品の小型・薄型化や多機能・高性能化によって電子部品の小型化やチップ比率の増大が進み、加えて、商品ライフサイクルの短期化と生産拡大を背景に実装設備の高生産性と高密度実装への対応が必要になってきている。

株式会社日立ハイテクインスツルメンツのダイレクトドライブモジュラーマウンダ「GXH-3」は、従来機「GXH-1S」をさらに進化させ、最高スループット95 Kcph(毎時9万5,000チップ)を実現すると同時に、高密度実装技術についてもソフトマウントノズルや基板高さ検出フィードバック機能の開発によって、いっそう信頼性を向上させている。

また、装置の性能を引き出し、高生産性を実現するために、最適化ソフトウェアや複数機種ラインバランスソフトウェアを充実し、顧客の生産ラインに合わせた最適な生産データの作成を可能としている。

## 1.はじめに

実装設備では携帯電話や携帯オーディオ機器、DSC (Digital Still Camera)に代表される携帯情報機器、ノートパソコン、薄型デジタルテレビ、自動車の電子化などによる需要拡大とチップ部品比率増大からモジュラーマウンタの高速化が進んでいる。

生産形態としては、商品の多様化やライフサイクルの短期化で生産ロットは小ロット化し、これまでの大量生産を主とする生産から、多品種少量生産までも対象とした変種変量生産が主流になってきており、在庫レス生産システムによる生産リードタイム短縮は、よりいっそうの高生産性を要求している。

中でも、携帯情報機器の高機能化は基板や部品の薄型化、微小部品の大量採用、狭隣接実装に拍車をかけている。現在、携帯情報機器分野の商品に採用されている最小部品は「0603部品(0.6 mm×0.3 mm)」であるが、「0402部品(0.4 mm×0.2 mm)」が高周波モジュールで一部採用され始めている。0402部品の本格的な普及にはもう少し時間がかかると思

われるが、実装設備としては、さらなる高速、高信頼性、高密度実装を実現する部品搭載技術を備えた装置が必要となってきている。

ここでは、高生産性・高密度実装を実現した株式会社日立ハイテクインスツルメンツのダイレクトドライブモジュラーマウンダ「GXH-3」について述べる(図1参照)。

## 2. 高生産性・高密度実装へのニーズ

### 2.1 高生産性への対応

モジュラーマウンタは最高スループットに注目されがちであるが、顧客ニーズはそれより先実生産性/面積生産性を重視している傾向が見られる(図2参照)。

高生産性を実現するための方策としては、実装動作の高速化とむだ時間の縮減がある。

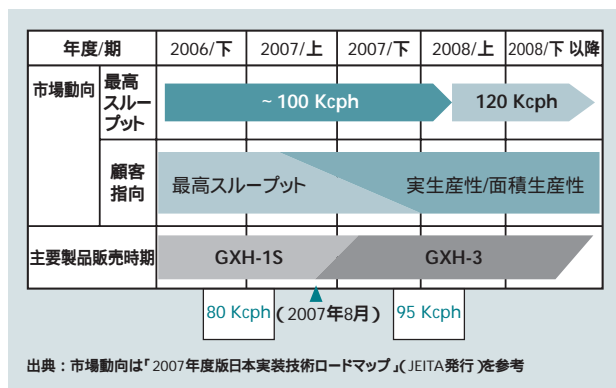
高速化の鍵は部品を吸着実装するヘッドの高速化である。しかし、ヘッド動作の高速化において単純に速度・加速度を増加させると装置振動・吸装着精度・機械要素の寿命などへの悪影響が懸念される。したがって、GXH-3では従来機GXH-1Sに対する加速度増加はしないこととした。そこで、加速度を増加せずにノズル上下とヘッド旋回動作、XY動作をオーバーラップさせることで動作時間の課題を解決した。また、ヘッドを支えるX軸ビームのさらなる軽量、高剛性が要求されるが、これは構造の再検討によって実現した。

むだ時間の縮減については、ノンストップフライ12部品一括認識などの機能によって停止時間ゼロを実現している。

ソフトウェアの面では最適化ソフトウェアの性能を向上し、段取り時間の最適化、生産順序の最適化と複数機種ラインバランスにより、基板仕上がり時間を短縮して生産性を向上した。

### 2.2 高密度実装への対応

モジュール部品については0402部品の利用が進んでいる



注：略語説明 cph( chip per hour )

図2 モジュラーマウンタの市場動向

市場動向は最高スループット100 Kcphであるが、顧客指向は最高スループットより先実生産性・面積生産性を重視する傾向にある。

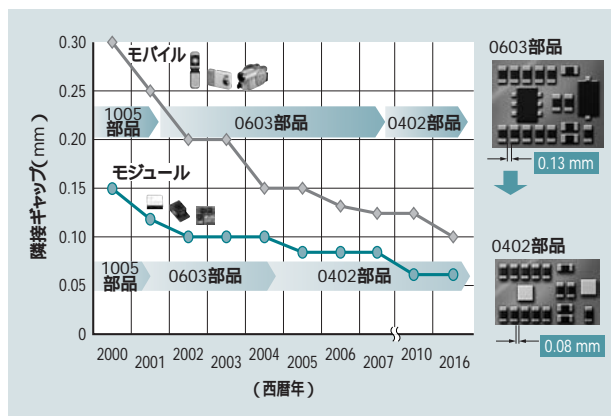


図3 微小部品の隣接ギャップ顧客要求

0603部品の隣接ギャップ要求は0.13 mm、0402部品は0.08 mmであり、年々狭隣接化傾向にある。

が、隣接ギャップ要求は0.08 mmとなっており、実装精度として3σで0.03 mm以下の性能が求められている(図3参照)。

このような高密度実装に対応するには、吸着位置精度の安定化を図り、実装精度に対する外乱要因を減らすことが重要である。吸着姿勢を安定化するため、GXH-3では吸着位置補正追従機能、吸着高さコントロール機能を備えている。

また、ヘッドの動作位置精度向上のため、XY軸にフルロードのリニアモータ駆動方式を採用した。特に2軸平行動作となるY軸については、それぞれのリニアモータが互いの位置を監視するツイン駆動方式で高精度を確保している。

次に、吸着した部品を精度よく基板上に実装するために必要なのは、部品を高精度で認識し、適正な装着レベルで装着することである。装着レベルの適正化のため、ラインセンサーにより、吸着部品下面を実際に計測して装着高さに反映している。また、基板の反りを計測してフィードバックする機能も準備している。

## 3. ダイレクトドライブモジュラーマウンダ「GXH-3」

### 3.1 基本構成と特長

モジュラーマウンタの最大の特徴は、一つのプラットフォームを基本にしてオプション形態を変更することにより、さまざまな種類の部品に対応するとともに、大量生産から多品種少量生産までの多様な生産形態に対しても最適な生産を提供できることである。

GXH-3の装置構成を図4に、主な特長を以下に示す。

- (1) 日立独自のダイレクトドライブモータを採用したヘッドにより、高速・高精度化を実現
- (2) ターレットマウンタで実績、評価の高いラインセンサーをヘッドに搭載し、部品の有無、吸着状態の確認、厚みの計測により、高信頼性実装を実現
- (3) リニアモータ駆動をXY軸に搭載し、高精度位置決めを実現

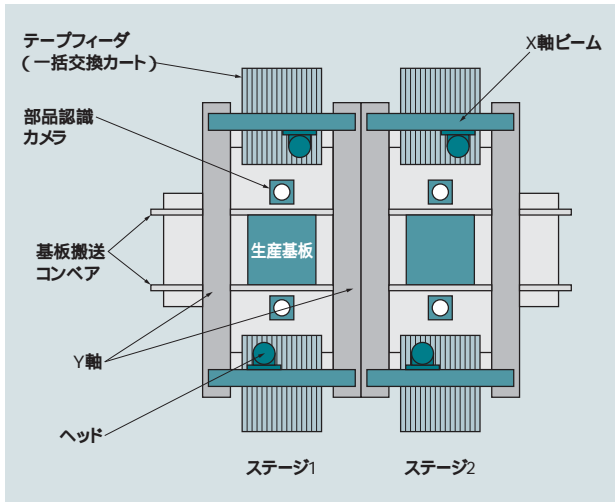


図4 GXH-3の装置構成  
GXH-3は2枚の基板に部品を同時実装する2ステージ、4ビーム、4ヘッド構成の装置である。

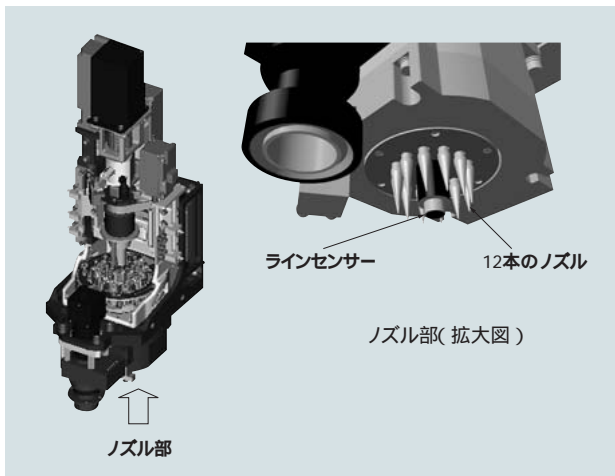


図5 ダイレクトドライブヘッド  
ダイレクトドライブヘッドは日立独自の構成であり、高速・高精度化を実現し、現在も機能・性能・品質の面で進化を続けている。回転補正分解能は0.0027である。

- (4) ノンストップ12部品一括撮像，12部品個別認識およびフライ位置補正システムにより，高速・高精度認識を実現
- (5) テープ送りにサーボモータ駆動を採用し，微小部品供給にも適した高速・高精度テープ送りが可能
- (6) 基板サイズの大小にかかわらず日立独自の基板Y軸位置アレンジ機能により，前後ビームの協調動作ロスを低減させ，生産性を向上
- (7) 高精度シミュレータエンジンと複合的最適化アルゴリズムにより，構成する最適化ソフトウェアは，装置内各ステージ間，各ビーム動作時間を平準化して生産時間を短縮することが可能

### 3.2 95 Kcphを実現した高速化技術

#### 3.2.1 高速・高精度ダイレクトドライブヘッド

ダイレクトドライブヘッドはAC( Alternating Current )サーボ

モータのロータ部に12本の吸着ノズルをダイレクトにレイアウトしたロータリ式のヘッド構成となっている( 図5参照 )。部品の回転補正はこのロータ部の回転( 公転 )によって行われるが，タイミングベルトなどの伝達機構を持たず，きわめてシンプルな構成でロストモーションの少ない高精度位置決めを実現している。

また，装置のポテンシャルを最大限に引き出すため，モーション制御やI/O( Input/Output )制御においてリアルタイム性の高い制御システムを採用し，1/1,000秒オーダーでのソフトウェアによる同期制御を実現している。特にノズルの上下動作とダイレクトドライブモータの回転動作は吸着・装着サイクルに影響が大きいので，極限まで動作をオーバーラップさせ，時間の短縮を行っている。

高速化において正確な部品のハンドリングを実現するためには，吸着・装着時の真空バルブ制御がきわめて重要な課題である。GXH-3では，よりノズルに近いダイレクトドライブモータのロータ内部にバルブを持ちながら，部品種類や実装サイクルに応じて最適なタイミング制御を行い，信頼性の高い部品実装を実現している。

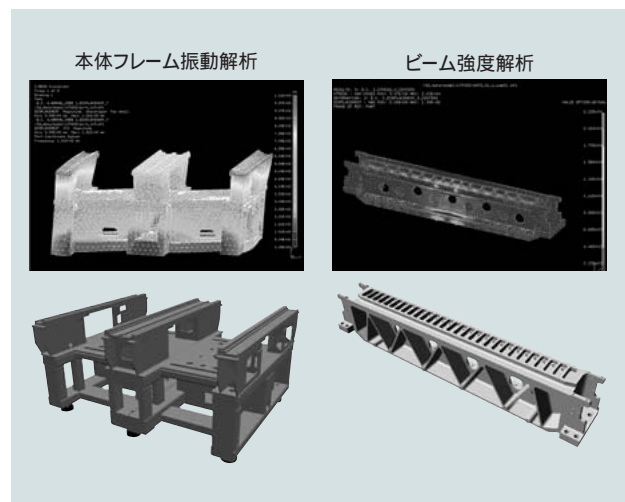
#### 3.2.2 高剛性，低振動フレーム

GXH-3は，業界トップクラスのスループット95 Kcph( Chip per Hour )を実現している。高速化においては，装置フレームの構造がそのポテンシャルを決定してしまうと言っても過言ではない。

日立ハイテクインスツルメンツは，解析主導型の設計を推進しており，装置フレームの設計においては徹底的な応力解析と振動解析を行っている( 図6参照 )。

しかし，極端にフレーム剛性を高めた場合，一部の機械要素( リニアガイドなど )に応力が集中し，寿命低下の原因となる場合もある。そこで，特定の部位においては歪( ひず )みを分散させる強度設計とするなど，独自の工夫を加えている。

また，装置フレームの振動解析結果から装置の固有振動



注:略語説明 CAE( Computer Aided Engineering )

図6 CAE解析結果例

CAE解析により，固有値と強度の最適化設計を行っている。

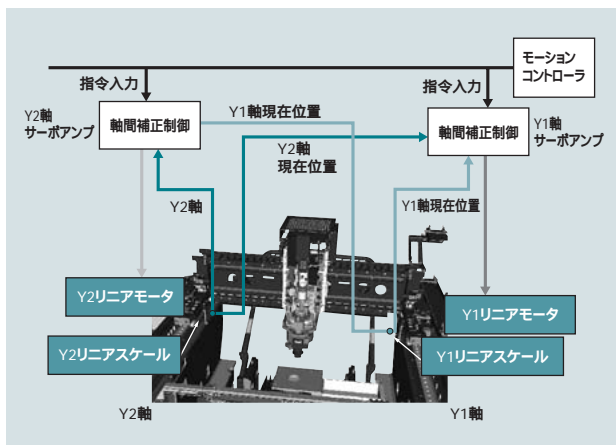


図7 ツイン駆動軸間補正制御構成  
Y1, Y2軸それぞれの位置を相互に監視し同期を取っている。

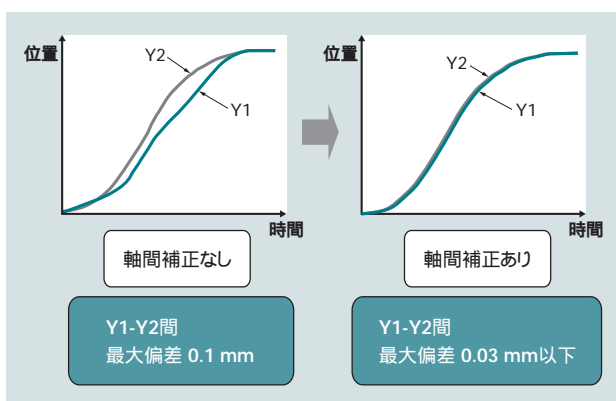


図8 ツイン駆動軸間補正制御結果  
軸間補正によりY1, Y2軸間の動作中最大偏差0.03 mm以下を実現している。

数を制御上のフィルタリングにフィードバックし、低振動化を実現している。

### 3.2.3 リニアモータによるY軸ツイン駆動

X軸ビームの駆動におけるフレームへの応力分散、およびその安定性を向上させるため、X軸ビームのY軸駆動にはリニアモータによるツイン駆動方式を採用している。Y軸リニアモータは2 m/sの高速移動を実現し、吸着・装着を行っていないむだな時間を短縮している。

また、ビームの固定は逃がし機構の不要なリジッド構造とし、Y軸2軸間の同期性を高めるために図7に示すような構成でツ

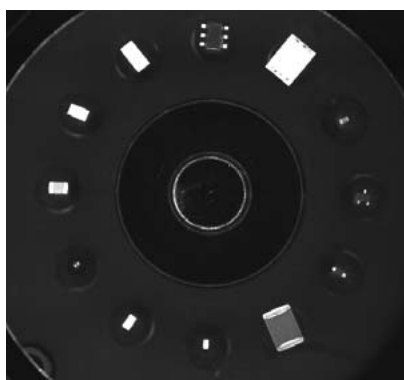


図9 部品認識撮像例  
12個の部品を一括撮像し、認識処理時間は1個当たり約5 msを実現している。

イン駆動軸間補正制御を行い、2 m/sの最高速度で動作中の軸間最大偏差0.03 mm以下を実現している(図8参照)。

### 3.2.4 ノンストップフライ部品認識

キセノンランプによるストロボ発光で撮像を行い、ヘッドを停止させることなく2 m/sの最高速度を維持したまま12個の部品を一括撮像している(図9参照)。

画像の演算処理(部品の有無・形状判定、X, Y, の位置算出)は角チップ部品で1個当たり約5 msで処理され、角チップ部品では実装シーケンスにおいて一切の待ち時間が発生しないシステムとなっている。

また、部品認識撮像時にはヘッド側に搭載された基板認識用のカメラを使用し、部品認識スコープ側に設けられた基準マークを同時に撮像し、ビームの移動速度によるズレを補正しており、高速化と同時に部品認識の繰り返し精度 $\pm 0.005$  mmを常に維持することが可能である。

### 3.3 微小部品の高密度実装技術

0402部品や0603部品などはサイズが小さく、また、耐衝撃エネルギーも小さいので、実装品質の中で特に注意しなければならないのは欠品と部品の割れである。欠品の実装設備に起因する要因は、印刷されたはんだ上面への部品の未到達もしくは、はんだへの押込み不足である。部品の割れは、はんだ上面に対する部品の押込み量が大きすぎる場合などに発生する。基板に対する部品の押込み量は多すぎれば部品の割れにつながり、少なすぎれば欠品につながる。

これらの問題を解決し、実装の信頼性、品質を確保するためには、部品実装時の装着高さ(基板上面に対する部品の押込み量)をコントロールする必要がある。

部品の寸法は同種の部品でも、メーカーごと、ロットごとにならずに寸法が異なっており、基板も反りが発生し、その高さは基板ごとに違っている。これらワークのばらつきを計測し、ばらつきに応じた装着高さを実現する。

GXH-3はこのために必要な次の三つの機能を備えている。

- (1) 基板の反り(基板上面高さ)を測定して、装着高さにフィードバックする機能
- (2) 吸着した部品厚(部品下面高さ)を測定して、装着高さにフィードバックする機能
- (3) 部品装着時の衝撃力を抑制する機能

#### 3.3.1 基板高さフィードバック

部品装着ヘッドにレーザー変位計を搭載し、部品装着前に装着位置の基板高さを計測して装着高さにフィードバックする機能である。この計測値に基づき部品実装時の下降下限をコントロールし、基板の反り形状に応じた高信頼性実装を実現している(図10参照)。

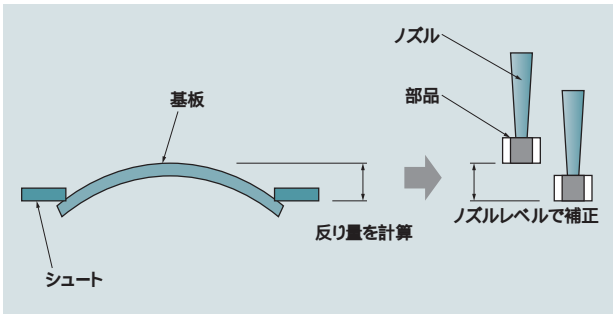


図10 基板高さフィードバック  
基板の反り形状に応じた実装高さを実現できる。

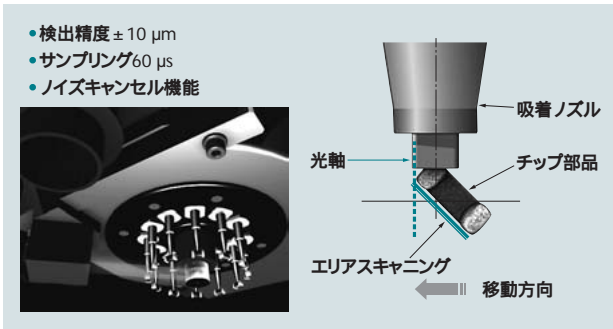


図11 部品下面高さフィードバック  
吸着部品の有無、立ち検出を行って不良部品の廃棄を行う。また、正常吸着部品は下面高さを計測し、装着高さにフィードバックする。

### 3.3.2 部品下面高さフィードバック

部品装着ヘッドに搭載されたラインセンサーを用いてハンドリングしている部品の下面の高さを計測する。この計測値に基づき部品下降下限をコントロールし、装着レベルの適正化を図り、高信頼性実装を実現している(図11参照)。

### 3.3.3 ソフトマウントノズル

先端部をバネ構造としたソフトマウントノズルにより、高速実装時の衝撃を吸収し、部品の欠け、割れをなくしている。また、押込み量を確保できるため、部品の持ち帰りも防止できる(図12参照)。

### 3.4 ソフトウェアによる生産性向上

生産性向上のためには、ハードウェアの性能向上だけでなく、ソフトウェアも重要な役割を担っている。

短時間での生産立ち上げを支援するためにはNPI(New Product Introduction)ツールとしてCAD(Computer Aided Design)変換、オフラインライブラリ教示、オフライン装着座標教示システムを提供している。また、生産性向上のために重要な生産時間や段取り替え時間の短縮には、複数機種ラインバランスや最適化ソフトウェアを用意している。

最適化ソフトウェアでは、部品の種類、使用ノズル、対向するヘッドの干渉などさまざまな条件を考慮し、最適な部品吸着ノズルの配置、部品供給部の部品配置、部品の吸着・装着順番、Y方向基板位置、生産の順番を決めていかなければ

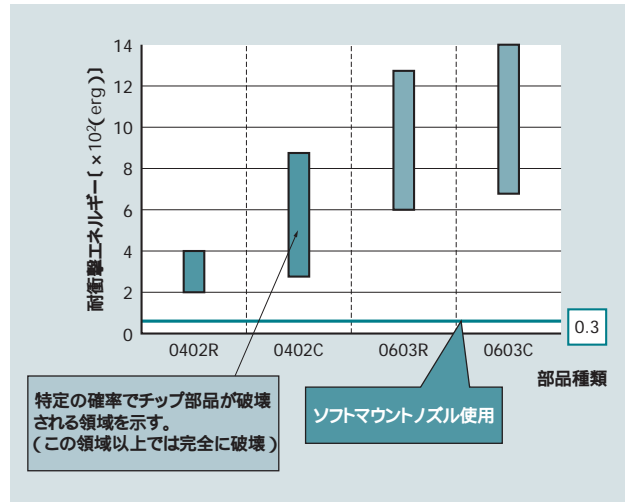


図12 微小部品の破壊領域  
耐衝撃エネルギーの最も小さい0402R(0.4 mm x 0.2 mm)の抵抗部品でも、ソフトマウントノズルの使用により、低衝撃実装が可能である。

ならない。

装着順だけを見ても装着点数の階乗個の組み合わせが存在し、最適なデータを作成するのは困難であった。そこで、日立製作所生産技術研究所と共同でアルゴリズムの研究開発を行い、従来から存在する近似解法の欲張り法や局所探索法などを発展させた最適解を短時間で得られる独自アルゴリズム(メタヒューリスティック手法適用)を開発した(図13参照)。

装置を複数台並べた生産ラインとしての生産性は基板の単位時間当たりの生産枚数で決まるので、1台の装置の生産時間が速くても、ラインとしての生産性は最も遅い装置の生産時間で決まってしまう。

そこで、複数機種ラインバランスソフトでは、装置間の生産時間のバランスを取り、ラインとしての最適な生産データの作成を可能としている。また、単純に1製品のデータ作成だけでなく、複数の製品データを入力することにより、段取り替え時

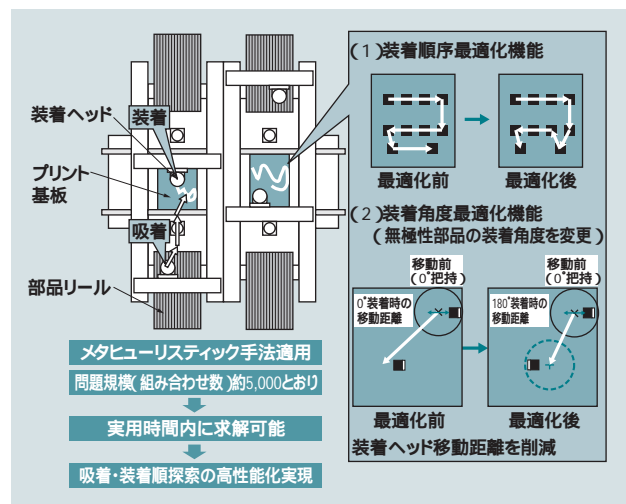


図13 最適化アルゴリズム  
メタヒューリスティック手法を適用することにより、最適解を短時間で得ることができ、吸着・装着順探索の高性能化を実現する。

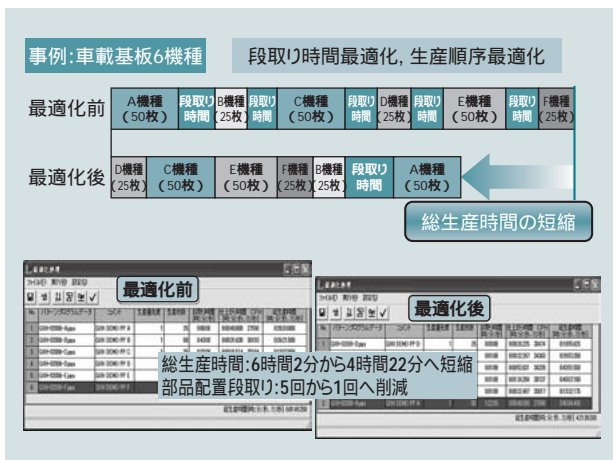


図14 複数機種ラインバランスによる生産性向上

段取り回数を5回から1回に削減し, 段取りを含めた総生産時間を約30%削減できた事例を示す。

間短縮のための部品配置・ノズルセットの共通化, 生産順序の最適化も行うことができる。

#### 4. 適用例

GXH-3の適用例として, 高生産性への取り組みの結果, 装置単体性能として最高スループット95 KcpI(従来機比約20%向上)を達成し, 顧客の生産例では携帯電話で10%, 液晶テレビで8%, モジュール基板で12%, 車載機器で9%程度のラインスループットの向上が実現できた。

また, 車載機器生産の事例においては, 複数機種ラインバランスソフトウェアを使用することによって, 段取り回数の大幅低減が可能となり, 約30%の生産性の向上が実現できた(図14参照)。

高密度実装技術への取り組みの結果として, 0402部品での0.06 mmの狭隣接実装にもトライしている(図15参照)。

#### 5. おわりに

ここでは, 高生産性・高密度実装を実現する株式会社日立ハイテクインスツルメンツのダイレクトドライブモジュラーマウンダ GXH-3」について述べた。

##### 執筆者紹介



福島 秀明  
2003年株式会社日立ハイテクインスツルメンツ入社, 設計本部 マウンタ設計部 所属  
現在, モジュラーマウンタの開発に従事



白井 克尚  
2003年株式会社日立ハイテクインスツルメンツ入社, 設計本部 マウンタ開発部 機構開発グループ 所属  
現在, モジュラーマウンタの機構開発に従事

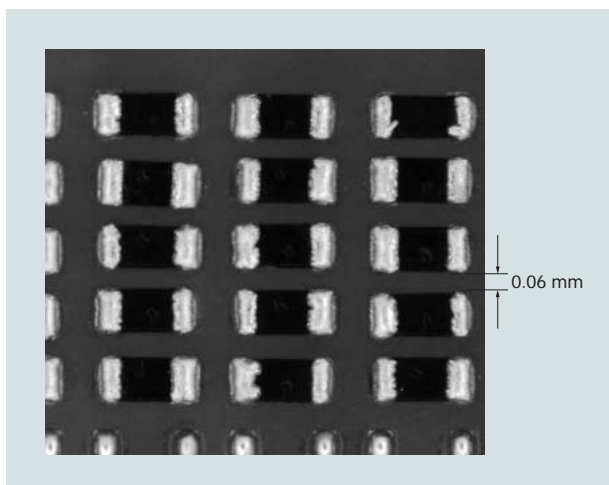


図15 リフロー後の0402R実装結果

Y方向隣接0.06 mm実装を行った結果を示す。

今後はさらなる生産性と品質向上のために, 装置の自己診断, 自己修復する機能や装置の稼働状況をリアルタイムに監視して安定稼働, 品質フィードバックさせる予防保全システムにも取り組んでいく。

また, 電子基板の生産は, 実装コスト低減のため社会インフラ整備の課題はあるものの, 携帯電話や自動車電装品を中心に中国はもとよりロシア, インド, ブラジルのいわゆるBRICsに拡大し, さらにVISTA各国に生産コストと流通コストのバランスを見ながら生産地域が変動していくと思われる。株式会社日立ハイテクインスツルメンツは, 装置の基本性能はもとより, 各地域の文化, 労働力の質, 環境を考慮して各地域に適した操作性の対応やサービス体制を構築するとともに, 変化する生産形態や次世代実装など, 顧客のニーズにいち早く対応するために, 市場のマーケティングと製品開発を強化し, より魅力ある製品を提案していく。

##### 参考文献

- 1) 2007年度版日本実装技術ロードマップ, 社団法人電子情報技術産業協会(JEITA) (2007.6)
- 2) 飯塚: 進化するモジュラーマウンタ, ロボット, No.174, 社団法人日本ロボット工業会(2007.1)
- 3) 春日: 2007年度版日本実装技術ロードマップの概要と課題, ロボット, No.179, 社団法人日本ロボット工業会(2007.11)



竹村 郁夫  
2003年株式会社日立ハイテクインスツルメンツ入社, 設計本部 マウンタ開発部 電装開発グループ 所属  
現在, モジュラーマウンタの電装開発に従事



勝田 重男  
2003年株式会社日立ハイテクインスツルメンツ入社, 設計本部 マウンタ開発部 アプリケーション開発グループ 所属  
現在, モジュラーマウンタのアプリケーションソフト開発に従事