

## 製造工程の特性に応じた 自動化機器・製造設備の適用による合理化

Rationalization of Automated Equipment and Manufacturing Facilities Appropriate to Characteristics of Manufacturing Processes

宮内 孝 MIYAUCHI Takashi 深津 健太 FUKATSU Kenta 原野 朋美 HARANO Tomomi

東芝グループは、少量多品種化や、製造工程の複雑化・高度化が進行する製造拠点の生産性向上を目的に、自動化による省人化や工程に対応した製造設備の導入に取り組んでいる。

投資回収や、品質及び納期確保の観点から適切な自動化機器や製造設備を導入するために、難易度を縦軸に、汎用度を横軸にした“自動化・設備化4象限”のチャートを活用し、対象とする工程の技術開発と適用を進めている。専用加工点及び設備の開発と導入が必要な個性が高い領域、市販設備の徹底活用が必要な領域、共通ユニットを活用した自動化で低コスト化を図る領域、及びDFM（Design for Manufacturability）と作業支援により省人化を進める領域のそれぞれに対して、適切な開発技術を適用することで製造の合理化に効果を上げている。

To improve the productivity of manufacturing sites in response to the progress of high-mix, small-lot production and the increasing complexity and sophistication of manufacturing processes, the Toshiba Group has been promoting the deployment of automated equipment for labor saving as well as the introduction of manufacturing facilities appropriate to manufacturing processes.

From the perspective of both recouping investment and securing quality and delivery times, we are developing and applying technologies to realize optimal production lines based on four types of manufacturing processes, called the “four quadrants to optimize automation and facility introduction.” These four quadrants, in which difficulty is represented on the vertical axis and versatility on the horizontal axis, are as follows: (1) a highly individualized zone necessary for the development and application of dedicated processing points and facilities, (2) a zone necessary for the sufficient use of general-purpose facilities, (3) a zone in which costs are reduced through automation by means of common equipment, and (4) a zone in which labor saving is achieved through design for manufacturability (DFM) and the support of workers. This approach is contributing to the rationalization of our manufacturing sites.

### 1. まえがき

製造業を取り巻く環境は、今後、製品の品質をめぐる競争の激化や技術革新のスピードが加速する一方で、モノづくりに関わる年齢層の人口が大幅に減少し、人材確保に一層の厳しさを増すことが予測される<sup>(1)</sup>。既に、実際の製造拠点においては、少量多品種化や製造プロセスの複雑化・高度化など、多くの課題が顕在化しつつある。これらの課題に対して、産業用ロボットの活用による人手作業の自動化や、製造プロセスを実現するための設備開発に取り組んでいる。様々な製品を製造している東芝グループでは、製品に応じた製造ラインの構築と、製造工程の特性に応じた自動化や設備導入を進めている。ここでは、システムインテグレーション(SI)ツールを用いた製造ラインの構想検討手法と、自動

化・設備導入に関する考え方について、実際の技術開発内容を交えて述べる。

### 2. 製造ラインの構想設計

#### 2.1 製造ライン導入の流れ

製造ラインの構想から導入、サポートまでの流れを図1に示す。この中で、前半の製造ライン構想の段階がライン構成を決定する部分である。ここでは、品質、コスト、納期などの要求が二律背反となることもあり、多くの検討案を作成しながらレビューを進めていく必要がある。産業用ロボットや製造設備の導入及び人手の配置により、生産要求を満足する最適なライン構成を提案する。

#### 2.2 SIツールの活用

製造ラインの構想設計を支援するために、図2に示すSI

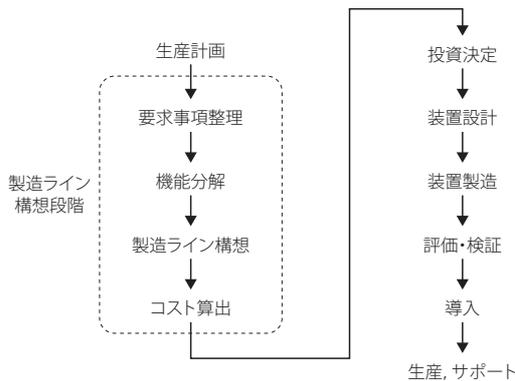
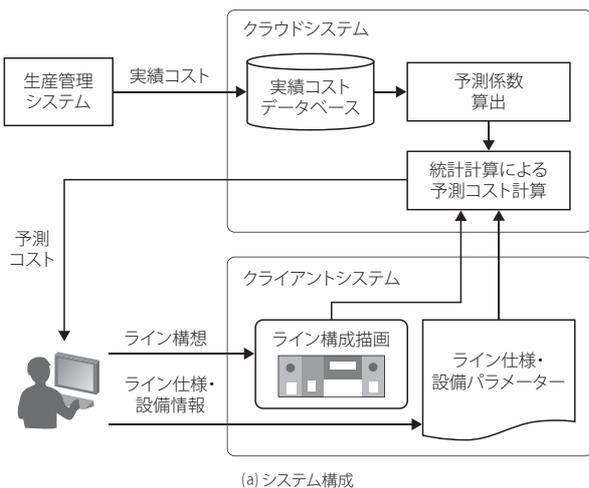


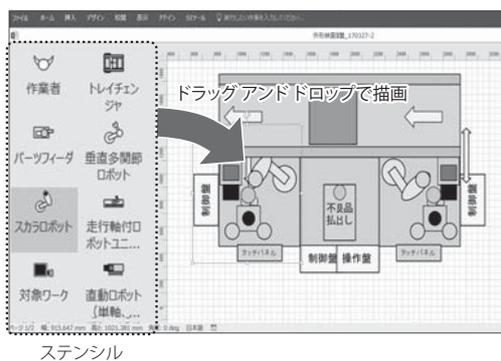
図1. 製造ラインの導入の流れ

品質・コスト・納期の観点で最適な製造ラインを構築するには、製造ライン構想段階が重要である。

Flow of introduction of production line



(a) システム構成



(b) ライン構成の描画面

図2. 製造ライン構想用のシステムインテグレーションツール

ユーザーが描画したライン構成の情報と実績コスト情報から、統計的に製造ライン構築に必要なコストを予測する。

System integration tool for performing conceptual design of production line

ツールを開発した。パソコン上で、製造ラインの概略図を描画する機能と、概算の投資コストを推測する機能を持つ。あらかじめ準備された、コンベヤやロボットなどのユニットを示す“ステンシル”をドラッグアンドドロップすることで、構想図の作成を短時間に行うことができる。ここで作成した構想図は、生産担当者、設備開発者、現場作業員などの構想レビューに活用できる。ライン構想決定後は、クラウドサーバー上に蓄積した過去のコスト情報を利用して、統計的に概略コストを推測することができる。最終的な投資コストは、部品や工数を積み上げて算出する必要があるが、ライン構想を検討する際の支援ツールとして有効である。

### 3. 設備導入と活用

#### 3.1 方針

東芝グループの製品の製造工程は、多岐にわたるので、合理的に自動化機器・設備導入を進めるために、その方法論を整理した。これまでの実績から、図3に示すように、製

- ◆ 人手作業難易度の段階の定義
  - ・5- 人手ではできない工程が主体
  - ・4- 人手では時間や歩留まりの問題が発生する工程が主体
  - ・3- 機械のアシストにより人手で対応可能な工程が主体
  - ・2- 熟練することで人手で対応可能な工程が主体
  - ・1- 人手で容易に対応可能な工程が主体
- ◆ 加工点・作業内容の汎用性の定義
  - ・5- 個別の技術・設備の開発が必要な工程
  - ・4- 既存技術・設備の応用開発で対応可能な工程
  - ・3- 仕様提示で設備調達可能な工程
  - ・2- 汎用ユニットによる設備カスタマイズで対応可能な工程
  - ・1- 汎用設備で対応可能な工程

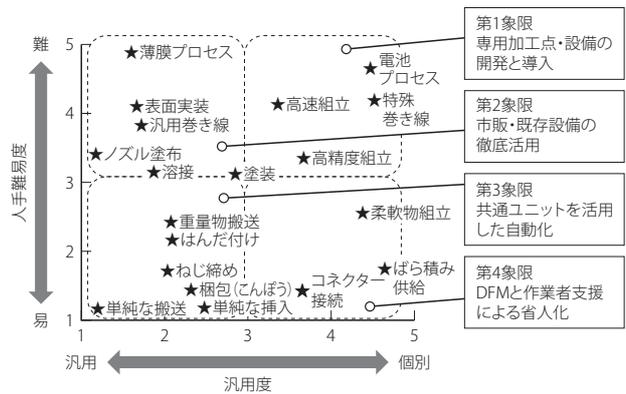


図3. 自動化・設備化4象限の概要

人手作業での難易度を縦軸に、加工点・作業内容の汎用度を横軸にしたチャートで工程を4象限に分類し、自動化・設備化の推進方法を整理している。

Outline of four quadrants to optimize automation and facility introduction

造工程を4領域に分類した4象限チャートで表現し、“自動化・設備化4象限”として活用している。チャートの横軸は加工点・作業内容の汎用度を、縦軸は人手作業の難易度を示し、図中に、ねじ締め、はんだ付け、高速組立などの一般的な工程を例示している。各象限はそれぞれ、以下の特徴を持っている。

- (1) 第1象限 人手作業が難しく、加工点の個性が高い領域である。加工点技術と専用の製造設備を開発することで、競合他社との差異化が重要となる。
- (2) 第2象限 人手作業が難しく、加工点の汎用性が高い領域である。対象加工点を処理する汎用設備や専用設備が市販されている。市販設備を購入し、いかに使いこなすかが重要となる。
- (3) 第3象限 人手作業が易しく、加工点の汎用性が高い領域である。人手作業に置き換えて自動化設備の導入を進める領域であるが、設備投資の低コスト化が要求される。産業用ロボットや、汎用ユニットの組み合わせ、共通ツールの展開などでコストを抑えて自動化する。
- (4) 第4象限 人手作業が易しく、加工点の個性が高い領域である。個性が高いために開発費が大きくなり、自動化が進みにくい。製品設計の変更で第3象限へのシフトを狙うか、人手作業をアシストするジグなどにより、製造の合理化を進める。

### 3.2 開発技術と事例

#### 3.2.1 第1象限における専用加工点・設備の開発と導入

固有の製造工程に対し、専用加工点を開発して製造設備に搭載する。工法の考案に始まり、数値解析、試作による課題抽出、実験による検証を経て、生産性、歩留まりなどの要求を満足する製造設備を開発する。

開発事例として、図4に示す車載発電機の製造設備とプリンターヘッドの孔加工設備がある。図4(a)の車載発電機の製造工程は、アルミニウム製のケースを加熱して膨張させてステーター鉄心を挿入する工程であるが、誘導加熱(IH: Induction Heating)方式を採用することで加熱時間を大幅に短縮するとともに、設備の小型化や、低コスト化、低消費電力化を図った。電磁界、熱、及び構造の連成解析技術を用いてIHコイルの形状を適正化することで、複雑な形状で複数の材料を用いたケースで均一な加熱を実現している。図4(b)のプリンターヘッド加工設備は、インクジェットプリンター用の微細なノズル孔を、レーザーで樹脂プレート上に形成する設備である。加工光学系と高精度なアライメント技術の開発、最適なレーザー加工条件の選定により、印字品質

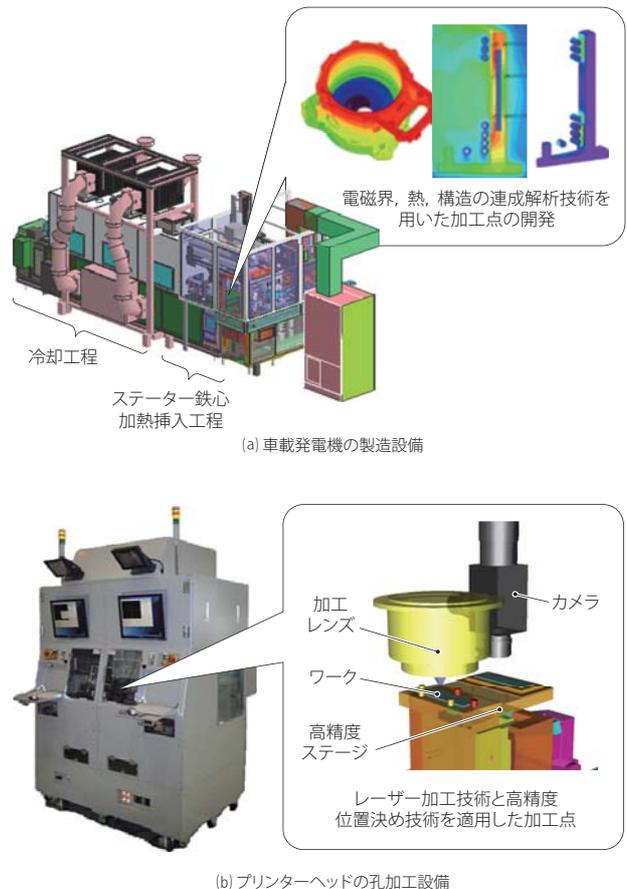


図4. 加工点技術を搭載した専用設備の例

対象製品・工程に最適化した独自の加工点を開発し、製造設備に搭載することで、製品の性能向上やコスト低減を実現する。

Examples of equipment provided with processing point technology

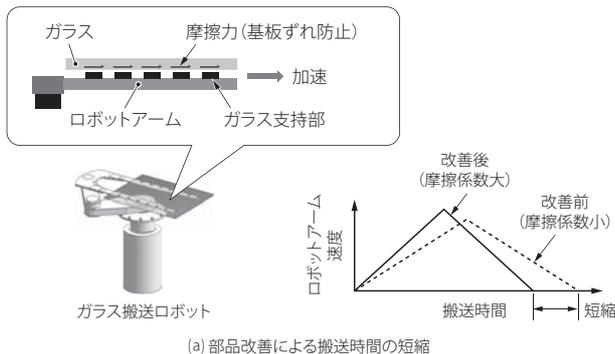
に直結する加工精度と生産性を両立した。

これらの事例では、いずれも、対象製品・工程に最適化した独自の加工点技術を設備にインテグレートすることで、加工品質や生産性を高めている。

#### 3.2.2 第2象限における市販・既存設備の徹底活用

社外から購入した設備や、既存設備の一部の部品交換、機能を追加するユニットの付与などで、生産性や歩留まりを向上する。生産活動の中で設備の課題を抽出し、改善方法を考案した後、数値解析や実験により効果を確認して実設備に反映する。得られる効果としては、製造設備の部品改善による設備機能の向上、消耗部品の長寿命化、設備状態を監視・制御するユニットを活用した見える化や省人化などである。

図5(a)に、真空中でガラス基板を搬送するロボットを高速化した事例を示す。搬送中のずれは、ロボットアーム上のガ



(a) 部品改善による搬送時間の短縮

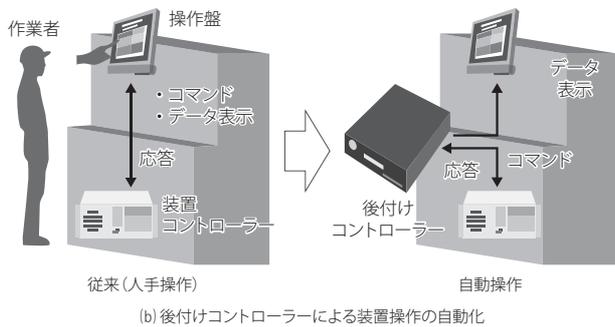


図5. 市販設備の徹底活用例

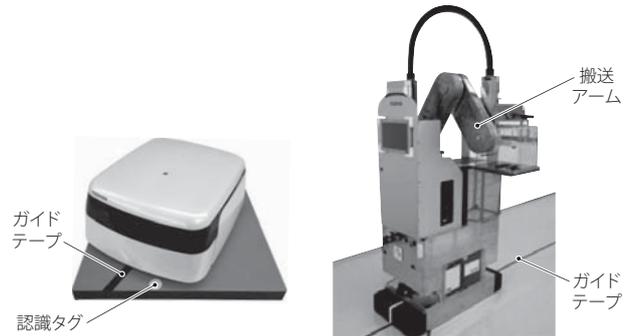
部品交換や安価な後付けコントローラの活用で、市販設備や既存設備の生産性を向上する。

Examples of sufficient use of purchased equipment by changing parts and adding controller

ラス支持部とガラス基板間の摩擦により抑止されている。そこで、ガラス支持部の材料を摩擦係数の高い材質に交換することでロボットアームの加速度を高め、搬送時間の短縮を実現した。また、後付けコントローラで機械操作を自動化した事例を図5(b)に示す。市販マイコンを用いた安価な制御装置を既設設備に取り付けることで、各種ボタンやマウス操作などのマシンインターフェースを自動で操作できる。複数の製造拠点に多数実用展開することで、設備操作作業の人的負荷を低減している。

### 3.2.3 第3象限における共通ユニットを活用した自動化

東芝グループ内の代表的な製造拠点を調査することで、共通的な加工点を抽出し、共通的に活用できるユニットを展開している。製造拠点の人手作業内容を分析した結果、物品搬送、ねじ締め、ラベル貼りなどの工程は人手作業が多いことが分かった。このことから、ねじ締め、ラベル貼りの工程については、新たに開発した加工点と産業用ロボットを組み合わせた共通ユニット化を進めている。物品搬送の工程については、民生品活用によりコストを抑えたAGV(無人



民生品を活用したローコストAGV  
けん引質量：10 kg又は30 kg  
移動速度：最大25 m/min

ピッキング作業が可能なアーム付きAGV  
搬送質量：5 kg  
移動速度：最大52 m/min

(a) 搬送作業の自動化に役立つAGV



(b) ジャミング転移現象を活用したマルチ吸着ハンド

図6. 共通ユニットの開発と展開

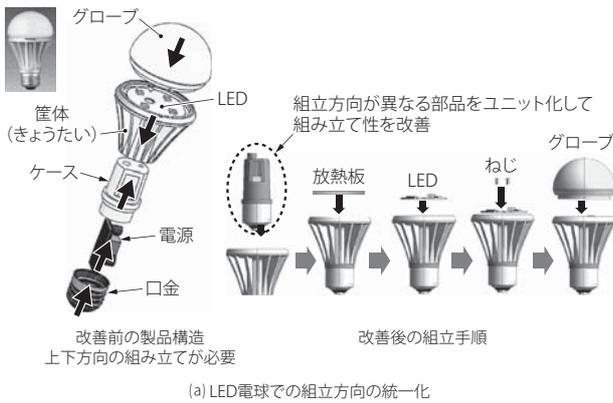
民生品を活用したAGVやマルチ吸着ハンドなど、低コストかつ汎用性の高い共通ユニットを開発し、国内外の製造拠点へ展開している。

Examples of development of common equipment in automation fields

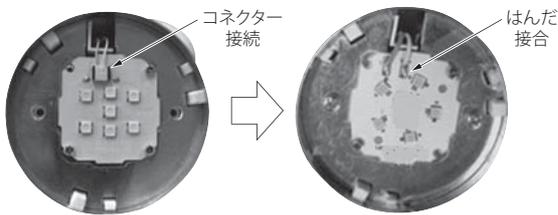
搬送車)を開発し、国内外の製造拠点への展開を進めている(図6(a))。更に、ピッキング作業が可能なロボットアーム付きAGVも開発し、製造工場での運用評価を開始した<sup>(2)</sup>。ピッキング作業を自動化するために、ワークを把持するハンド部に関しては、ジャミング転移現象と真空吸着を併用した、汎用性の高いマルチ吸着ハンドを開発した<sup>(3)</sup>。射出成形機からのワーク取り出しなどへの展開を進めている(図6(b))。

### 3.2.4 第4象限におけるDFMと作業支援による省人化

現実の製造現場では、現状工程のまま自動化することが技術的、あるいは投資回収の観点から難しい場合がある。そのような場合には、製造性を考慮した内容に製品設計を変更することで、工程を第3象限にシフトさせて自動化を推進する方法が考えられる。あるいは、安価な作業支援ジグや簡易的な機器の導入により省人化を進める。自動化難易度を低減した事例として、図7にLED(発光ダイオード)電球の事例を示す。組立方向の統一化(図7(a))と、自動化が困難なコネクタ挿入による配線接続方式を、比較的容易なはんだ付け方式に変更(図7(b))することで、自動化を達成した。



(a) LED電球での組立方向の統一化



(b) 配線接続方法の改善(コネクタ接続をはんだ接合に変更)

**図7. DFM適用による組み立ての自動化の例**

部品のユニット化による組立方向の統一化や配線接続方式の改善で、自動化を容易にした。

Examples of assembly automation by applying DFM

**4. あとがき**

SIツールを用いた製造ラインの構想検討手法と自動化・設備化4象限の考え方について述べた。近年は、IoT (Internet of Things) 技術やAI技術の高度化が進んでいる。ここで述べた考え方に基づき、製造工程の自動化や設備導入を進める中で新しい技術を積極的に導入し、品質、納期、コストの観点でより良い製造ラインの構築を追求していく。

**文献**

- (1) 経済産業省, ほか. "2017年版ものづくり白書(PDF版)". 経済産業省. <[http://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2017/honbun\\_pdf/index.html](http://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2017/honbun_pdf/index.html)>. (参照 2017-09-04).
- (2) 坂本 慎, ほか. "ロボットアームを搭載した無人搬送車の開発". IIP2017情報・知能・精密機器部門 (IIP部門) 講演会論文集. 日本機械学会. 東京, 2017-03. 2017, G-01. (CD-ROM).
- (3) 中川恵美子, ほか. "吸着機能を有するジャミンググリッパの開発". IIP2017情報・知能・精密機器部門 (IIP部門) 講演会論文集. 日本機械学会. 東京, 2017-03. 2017, D-01. (CD-ROM).



**宮内 孝** MIYAUCHI Takashi  
 研究開発本部  
 生産技術センター  
 日本機械学会会員  
 Corporate Manufacturing Engineering Center



**深津 健太** FUKATSU Kenta  
 研究開発本部  
 生産技術センター  
 メカトロソリューション推進部  
 Mechatronics Engineering Solution Dept.



**原野 朋美** HARANO Tomomi  
 東芝ITコントロールシステム(株)  
 事業開発推進室  
 Toshiba IT & Control Systems Corp.