

慶應義塾大学ビジネス・スクール

マックス株式会社 吉井工場 —ねじ締め作業自動化プロジェクト—

会社概要

マックス株式会社（以下、マックス）は、文具・オフィス機器や建築・建設工具などを製造販売している企業である。資本金は123億6,700万円、売上高は約681億円（2018年3月期、連結）、従業員数は2,683名（2018年3月期、連結）である。本社は東京都中央区にあり、その他にも国内に7か所の生産拠点と28か所の販売拠点などを有しており、海外にも4か所の生産拠点と8か所の販売拠点を有している（会社概要を付属資料1に、会社沿革を付属資料2に示す）。

マックスは1942年に航空機のウイング部品メーカーとして設立された山田航空工業株式会社が、1945年に事務器の生産を開始したことが起源である。事務器の代表的な製品はホッチキス（ステープラー）である。戦後間もない時代は、書類を綴じるためには紙束にキリで穴をあけ、紐をとおして結び、書類を綴じるのが一般的だった。そのような中、同社は1946年に「ヤマコースマート」（3号ホチキス）を発売し、当時としては画期的な商品だった。その後、1952年に国産初のハンディ・ホッチキス「SYC・10」（10号ホチキス）を発売して以来、ユーザー視点に立った製品を数多く世に出している。2008年に発売されたVaimoシリーズ（図1）は、片手で40枚までの紙を綴じられ、さらに閉じた後の針が平らになるなど機能や使いやすさを追求した製品であり、同年にハンディタイプホッチキスの累計販売台数が4億台を超えている。



図1 Vaimo11 FLAT シリーズとホチキス針（※同社 Website より引用）

本ケースは、表題企業の全面的な協力を得て、慶應義塾大学大学院経営管理研究科専任講師 市来寄治が作成したものである。本ケースは、クラス討議の資料として用いるためのもので、経営管理の巧緻を記述したのではない。

本ケースは慶應義塾大学ビジネス・スクールが出版するものであり、複製等についての問い合わせ先は慶應義塾大学ビジネス・スクール（〒223-8526 神奈川県横浜市港北区日吉4丁目1番1号、電話 045-564-2444、e-mail: case@kbs.keio.ac.jp）。また、注文は <http://www.kbs.keio.ac.jp/> へ。慶應義塾大学ビジネス・スクールの許可を得ずに、いかなる部分の複製、検索システムへの取り込み、スプレッドシートでの利用、またいかなる方法（電子的、機械的、写真複写、録音・録画、その他種類を問わない）による伝送も、これを禁ずる。

Copyright © 市来寄治（2019年8月作成）

もうひとつの主力製品である建築・建設工具は、1950年代に米国の釘打機メーカーから圧縮空気を動力源とした釘打機の情報を得たことをきっかけにして本格的な省力工具の開発を開始し、1962年に国産初のエアネイラ「エアタッカ T2-A」を発売したことが発端である。従来、木製家具の木枠接合や椅子の革張りには、釘を金槌で打ち付けていたので、次々にステープルを打ち込めるエアネイラは生産性の向上に大きく貢献した。さらに、高度成長期の住宅供給の拡大などにもない家具産業も急成長したため、エアネイラの需要は急速に高まった。その後もマックスは、建築現場での使用を想定した製品開発に取り組み、1973年にコイルネイル（丸釘を針金で溶接してロール状に巻いたもの）を用いて丸釘を打ち込める国産初のエアネイラ「コイルネイル CN-60」を発売、1986年にコイルネイルの安全性と作業性を向上させたプラシート連結釘を世界で初めて開発、1988年には世界初の反動吸収機能付のコンクリートへの釘打機「CT-N300 パワービット II」を発売、1994年には従来の約3倍の空気圧力を使用することで、高い打ち込み力とボディの小型・軽量化を図った高圧釘打機スーパーネイラ「HN-120」を発売、2004年には洋裁の針のように細いピンネイル（径0.6mm×長さ45mm）を木材に打てるスーパーネイラ「HA-45P1」を発売するなど、現場のニーズに合った革新的な製品を次々に発売している（図2）。



図2 エアネイラの例（※同社 Website より引用）

その他にも同社は、2000年に浴室換気乾燥暖房機メーカーであるシンワハイテックグループ2社を買収して住環境機器事業に進出したり、2010年に車いすメーカーである株式会社カワムラサイクルの株式を取得して連結子会社化したりするなど、事業の拡大を図っている。現在の主要事業は、ホチキスをはじめとした「オフィス機器部門」、建築・建設工具や浴室換気乾燥暖房機などの「インダストリアル機器部門」、車いすやその他福祉用品の「HCR（Home Care and Rehabilitation）機器部門」の三つである。各事業とその内容を付属資料3に示す。また、全体の業績と各事業の業績の推移を付属資料4に示す。

吉井工場概要

吉井工場（図3）は、2007年5月に住環境機器事業の主力工場として、群馬県高崎市吉井町に建設された。敷地面積は71,070m²、建物面積は9,940m²、パート従業員を含む従業員数は約110名（2019年4月時点）、住環境事業の生産品目は51品目である。吉井工場全体の年間生産高は約40億円である。



図3 吉井工場外観（※同社 Website より引用）

同工場では、市場シェア約50%の「浴室暖房・換気・乾燥機」（図4）をはじめ、今後に必要な増加が見込まれる熱交換型24時間換気システムや、ディスプレイシステム（台所の流しなどに設置して、ゴミを破碎し、処理槽を通じて下水道へ放流するもの）などを生産している。住環境機器専用の邸別詰合わせ梱包ラインを設置したり、ピッキング・小口梱包作業の効率化を図ったりするなど、生産から物流作業までのトータルの生産性向上を実現するために、継続的な改善活動にも熱心に取り組んでいる。



図4 「浴室暖房・換気・乾燥機」の例（※同社 Website より引用）

「浴室暖房・換気・乾燥機」の概要

「浴室暖房・換気・乾燥機」は、ユニットバスの天井部に取り付けることで、「浴室暖房」、「涼風」、「衣類乾燥」、「浴室換気」、「24時間換気」などの機能を果たす製品である（ラインナップを付属資料 5 に示す）。市場シェアは約 50%とトップであり、競合である TOTO 株式会社、パナソニック株式会社、三菱電機株式会社のシェアの合計よりも大きい。製品の大きさは、幅約 41cm×奥行き約 29cm×高さ約 21cm である。

「浴室暖房」は主に冬場の使用を想定した機能であり、入浴前に浴室を温めることでヒートショック事故の予防にもなる。浴室の洗い場を 20℃にするために要する時間は、最上位機種 of 200V 機で約 2 分 40 秒である。反対に「涼風」は主に夏場の使用を想定しており、扇風機のように風を送ることで湯あたりやのぼせを抑えることができる。「衣類乾燥」は浴室内で洗濯物を干すための機能であり、天候（雨など）、季節（花粉や PM2.5 など）、時刻（夜間など）を気にせずに洗濯できる。200V 機は 5kg の衣類を、標準運転で約 1 時間 45 分で乾燥させられる。近年は隣接施設との兼ね合いや景観の問題で、洗濯物を外に干すことが困難なアパート、マンションが増えており、そういった施設においては必需品になっている。「浴室換気」は入浴後に使用することで浴室内の湿気や水分を取り除き、カビの発生を抑制できる（シャープのプラズマクラスター技術を導入した機種もある）。「24 時間換気」は、2003 年 7 月 1 日に施行された建築基準法の改正により、換気設備の設置が義務付けられたことを受けて搭載した機能である。室内の汚れた空気、湿気、臭気を排出し、別の屋内にある通気口から新鮮な外気を取り込むことで、室内の空気を 24 時間、快適にコントロールする計画換気システムである。

同製品は国内向けであり、ユニットバスであれば戸建てやマンション・アパートの区別なく、新築時であつてもリフォーム時であつても対応できるが、出荷台数はマンション・アパートの比率が圧倒的に大きい。前述した通り、近年ではマンション・アパートでは必需品のようになっており、新築時での導入が増加したため、同工場稼働時に比べて出荷量は増加しているが、現在は安定期に入っている。

なお、「浴室暖房・換気・乾燥機」は、消費生活用製品安全法の改正により創設され、2009 年 4 月 1 日に施行された長期使用製品安全点検制度で指定されている特定保守製品である。設計標準使用期間である 10 年を超えて使用した場合、経年劣化による発火・けが等の事故に至る可能性があることを想定し、使用者は点検期間内（9 年目から 11 年目の間）に法律で定められた点検（法定点検・有償）を受ける必要がある。マックスはこの法定点検業務も受け付けている。

ねじ締め作業自動化プロジェクトのきっかけ

「浴室暖房・換気・乾燥機」(以下、浴室乾燥機)の製造工程における、ねじ締め作業自動化プロジェクトは2017年6月から開始された。プロジェクトが開始されるまでのいきさつについて、プロジェクトを統括されている、生産本部 生産システム部 部長(当時)である吉田信太郎氏にお聞きした(2019年1月29日)。

Q: このプロジェクトを始めようと思われたきっかけは何ですか?

吉田氏: 吉井工場に限らず当社では、現場の作業は主にパートや派遣の方にしていただいているのですが、その方々を採用しにくくなってきたというのが、きっかけとしては一番、大きいです。今はまだ何とか最低限の人数を確保できているのですが、特にここ1、2年は、募集をかけても必要な人数が集まらなくなってきており、それに対して何らかの手を打たなければいけないということが経営的な課題のひとつになっていました。その中で当然、ひとつの方向性として自動化が選択肢に上がりました。当社ではこれまでも、設備化や自動化の取り組みをしてきており、最近でも別工場で搬送を自動化するためにAGV(Automated Guided Vehicle)の導入を進めています。ただ、いわゆる価値作業^[1]の自動化に対する取り組みは浅かったので、それを加速していく必要があると判断してプロジェクト化の検討を進めました。

Q: そのような背景の中、浴室乾燥機の製造工程のねじ締め作業を対象にされたのには、何か理由があるのでしょうか?

吉田氏: ひとつは、最初のプロジェクトとしての難度を考慮したためです。ねじ締め作業に関しては市場にある程度、前例がある技術ですので、ちょうどいいのではないかと考えました。もう一つは投資効果です。先ほどお話した通り、省人化への対応でもあるので、自動化により作業員一人分以上の仕事を自動化する必要があります。そのような中、浴室乾燥機はねじ締め作業が比較的多く、省人効果を見込めました。また、出荷台数も住環境事業内では最も多く、自社の他製品にくらべて機種が比較的、単一化されていますので、その効果はより大きくなります。これらのことを考慮し、浴室乾燥機のねじ締め作業を初めの対象にしました。

^[1] 部品の組み付けや切削など、製品や部品に対して付加価値を与える作業のこと。

Q：プロジェクトを開始するにあたり、どのような事前調査をされたのでしょうか？

5 吉田氏：浴室乾燥機でやろうという意志を固めた段階で、ロボットメーカーさんとコンタクトをいくつか取りました。前例があるとはいっても、当社の製品にそのまま適用できるわけではないので、製品
10 の特性を考慮していろいろと調査しました。その際、同工場には浴室乾燥機以外にも、ねじ締めが多い工程がありますので、そこへの展開も視野に入れながらいろいろと情報収集しました。ロボットの調査と並行して、付随的に必要になると思われる技術についてもリサーチを始めました。例えば、ねじの供給機やカメラです。そういった技術があることは日ごろから展示
15 会に行ったり、カタログ情報などをチェックしたりしていますので知っていました。それらの中から、活用できそうなものについてはメーカーさんを訪問したりして実機を確認しながら検討を進めました。こういった調査を進めて具体的なイメージを固めた後に、経営陣に対してプロジェクトに関する稟議を上げたのが2017年の5月です。

Q：承認はすぐにされたのでしょうか？

15 吉田氏：プロジェクトの開始についてはすぐに了承されたのですが、その際、経営から言われたことは「若手主導で進めて欲しい」ということでした。私も人材育成の観点からそのように進めたいと考えていましたので、若手の長沼をアサインしてプロジェクトを開始しました。

20 プロジェクトの概要

プロジェクト体制

25 プロジェクトは2017年6月に開始した。第1生産技術部 住環境技術課の長沼陽介氏が中心的に取り組み、必要に応じて生産本部室 生産システム部 生産システム課の棚橋純也氏や、吉田氏が支援する体制をとった。また当時、生産システムに関する共同研究に取り組んでいた、成蹊大学理工学部教授の篠田心治氏と研究室の学生数名も、研究の事例として取り組む形で、必要に応じて支援、参加した。

対象工程

30 対象としたのは、集合住宅向けの多室の浴室乾燥機（付属資料5の赤枠）を作る工程である。「メインキャビネット」と呼ばれる本体部品に、モーターや換気のためのユニット部品などの組付部品をねじで固定したり、配線をつないだりすることで製品を完成させた後に、検査と梱包をする。プロジェクト

ト発足時は組付工程に 6 名、検査工程に 2 名、梱包工程に 3 名の作業者がおり、タクトタイムは 105 秒であった（編成効率は 90%）。この内、組付工程は全部で 7 工程あり、横一列に並んでいた（図 5）。製品は常にトレーに載せられた状態で作業されており、トレーに載ったまま工程の上流から下流まで手で搬送されていた。それぞれの工程には電動ドライバーなどの作業に必要な機器が置かれていたり、組付部品が供給されたりしており、必要に応じて作業者が移動しながら作業していた。ねじ締めにより組み付ける部品は、大小合わせて 18 点（12 種類）であり、全部で 49 本（4 種類）のねじを用いていた。

この組付工程において、作業員 1 名分の仕事をロボットに置き換え、投資金額を 3 年で回収することを目的に、プロジェクトは進められた。

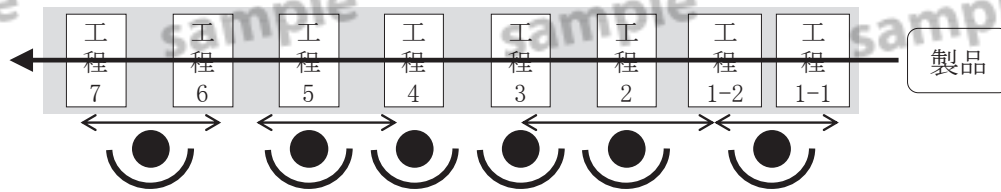


図 5 対象工程

プロジェクトの進め方の概要

プロジェクトは、まず事前検討として、自動化を視野に入れたねじ締め作業の分析から始めた。それと並行する形で、ロボットアームや関連する機器の選定や、シミュレーションなどによる検証を進めた（機器が決定したのは 2017 年 8 月である）。この過程で、自動化する上での課題抽出と対策の検討も実施した。次に、ロボットアームを導入した組付工程編成の検討をした後に、設備製作を実施した。その後、実機での検証を実施し、課題解決した上で本稼働させた。本稼働後も調整を続け、不具合が発生した場合には原因を分析し、必要な対策を実施した。

事前検討：ねじ締め作業の研究

ねじ締め作業の流れ

作業員による、電動ドライバーを用いたねじ締め作業の一般的な流れを図 6 に示す。右手で電動ドライバーをもった状態から始まり、左手でねじの入った箱から 1 本のねじを取り、右手の電動ドライバーの先端にねじを付け、そのねじをねじ穴に合わせ、右手で電動ドライバーを部品に押し付けることで電動ドライバーが起動し（プッシュ・スタート式）ねじを締め、最後に電動ドライバーをねじから離して終了する。

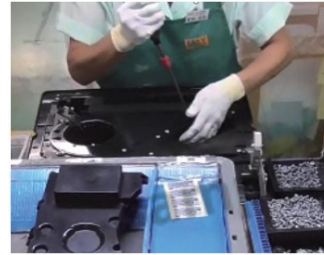
5



1. 左手で箱からねじを1本取る



2. 右手で持っている電動ドライバーの先端に、左手でねじを付ける



3. 電動ドライバーの先端についでいるねじを、部品のねじ穴に合わせる

10



4. 右手で電動ドライバーを押し下げてねじを締める(プッシュ・スタート式)



5. 電動ドライバーを離す

15

図 6 ねじ締め作業の流れ

ねじ締め作業の分析

20

人の作業は複数の動作で構成されている。人の動作を機械に置き換えようとする場合、機械によっては困難、あるいは不可能な場合がある。例えば、作業者は異なる部品であっても、特に意識することなく手でつかむことができる。一方、機械では部品の種類に応じて掴み方を設定する必要がある。さらに、上述の箱に入ったねじのように、同じ部品が定められた位置あるいは向きで供給されなくても、作業者は無意識に掴むことができる。しかし、機械では位置や向きを検出するためのカメラ、さらに多軸のアームで向きに合わせて部品を取るなど、多くの機能が必要になる。このことから、人の作業をそのまま自動化すると膨大なコストがかかる可能性がある。経済的な自動化を進めるためには、人の作業に含まれる動作の中から機械に置き換えるべきものを選定したり、動作そのものを簡単にしたりする必要がある。

25

以上の観点から実際のねじ締め作業を分析してみると、作業者は図 7 に示すように様々なパターンで作業していることがわかった。これらは、本体部品と組付部品の状態によって生じていた。

30

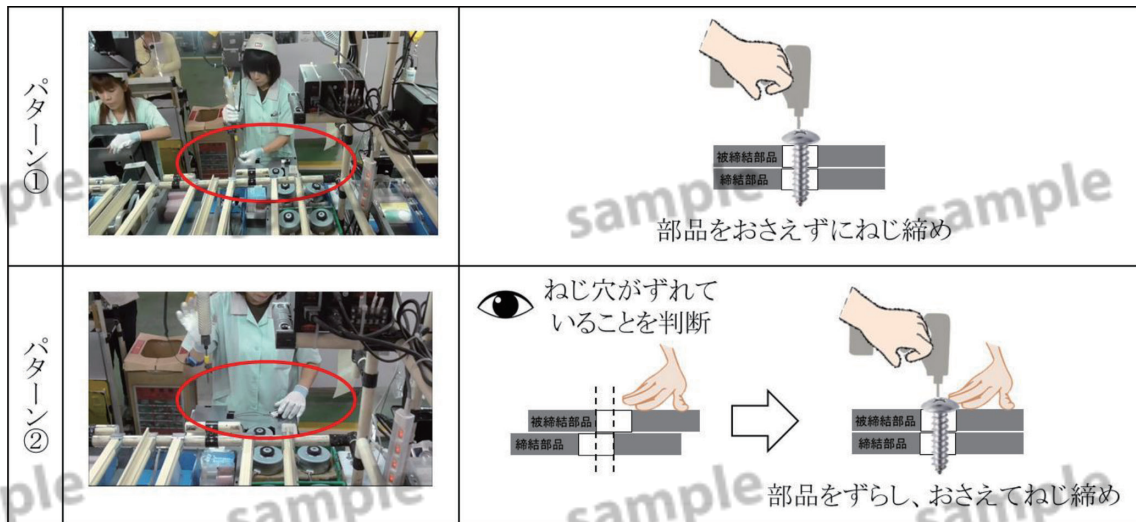


図 7 ねじ締め作業の例

図 6 に示したねじ締め作業の動作の流れを、右手と左手に分けて整理した結果を付属資料 6 に示す。このような簡単な作業も、左右を合わせて 20 以上の動作で構成されていることがわかる。これらの動作のうち、ドライバーを持っている右手の一連の動作は、ねじ穴の位置を確認したうえで、垂直軸における下方向にブッシュスタート式の電動ドライバーを動かすというもので、比較的、定常的かつ容易なものである。このため、右手の一連の動作は電動ドライバーを付けたロボットアームにより基本的に代替可能であると考え、事前調査の結果に基づき適切な設備を選択しながら自動化を進めることにした。

一方、箱からねじを取ったり、部品をおさえたりする左手の動作に関しては機械に置き換えることが難しいものも含まれている。これらの作業は大まかに「部品箱」、「ねじ穴と他部品の干渉」、「部品同士のズレ」に分類できることがわかった。「部品箱」とは、部品箱に入っているねじの状態のことであり、乱雑に入っているか、同じ向きで入っているかなどである。「ねじ穴と他部品の干渉」とは、ねじ締め時に、例えば他の部品に付いているケーブルが組付部品のねじ穴の上にくるなど、ドライバーと干渉する可能性があるか否かである。「部品同士のズレ」とは、本体部品と組付部品を組み合わせた際に、部品同士が動いてそれぞれのねじ穴が一致しない可能性があるか否かである。これらについては別途、自動化の可能性を検討する必要があると考えた。

ねじ締め作業の分類

49 本のねじ締め作業について、上述した機械に置き換える難しさに関する 3 分類のそれぞれについて分析した。その結果を付属資料 7 に示す。全ての作業について、3 分類の観点から自動化のしやすさを検討し、容易に可能なものには「○」、困難なものには「×」を記入した。「部品箱」については、部品箱に入っているねじを確認し、乱雑に入っている場合を「×」とした（なお、すべてのねじ

締め作業に関して「×」であった)。「ねじ穴と他部品の干渉」については、ねじ締め時に他の部品が干渉する可能性を確認し、可能性がある場合を「×」とした。「部品同士のズレ」については、実際に本体部品に組付部品を組み合わせ、組付部品が動くかどうかを確認し、部品の設計上、ねじ締めが可能な範囲である±0.5mm以上動く場合を「×」とした。以上の分析の結果、どの作業についてもそのままでは自動化が困難であることがわかり (3 分類すべてが「○」のねじ締め作業はなく)、対処方法を検討しなければ自動化できないことがわかった。

また、4 種類のねじに関して、すべて締め付けトルク^[2]は同じであったが、そのうちの 1 種類だけ 45 本使用していることがわかったので、この 1 種類のねじ締め作業に関して、何らかの対策を講じた上で自動化を進めることにした。

10

対策例

「部品箱」については、ねじの供給方法を変えることで対処することにした。具体的には従来、部品箱の中にねじを乱雑に入れる方式から、自動供給機 (常にねじ頭が上を向いた状態で 1 本ずつ供給する機械) に変更することで、ロボットアームでも取りやすい状態を作ることにした (図 8)。

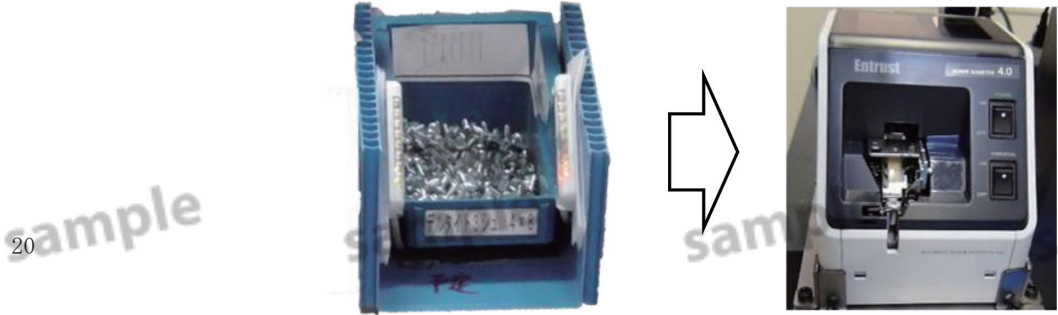


図 8 ねじ供給方法の変更

「ねじ穴と他部品の干渉」については、トレーの工夫などで対処することにした。例えば、本体部品 (A) にある部品 (B) をねじ締めで固定する前に、その部品 (B) と本体部品 (A) をケーブルで接続し、さらに別の部品 (C) をねじ締めしてから、(B) をねじ締めする必要がある場合が該当した。本体部品 (A) と部品 (B) をケーブル接続した直後、部品 (C) をねじ締めする際、その部品 (B) は固定されていないので、トレーの上で動いてしまう。このため、部品 (B) のトレーへの置き方によって、ケーブルがねじ穴に干渉し、部品 (C) のねじ締めの際に障害になることがあった。そこで、図 9 に示すように、置き場が固定されるようなトレーを自作し、本体部品 (A) と部品 (B) のトレー上の位置を固定することで、ケーブルのねじ穴への干渉を防ぐことにした。

30

^[2] ねじを回して締め付ける際の回転方向の力のこと。この力が大きいほど、締め付けたねじが緩みにくなる。製品の品質を保証するため、多くの製造企業では締め付けトルクを管理している。

20

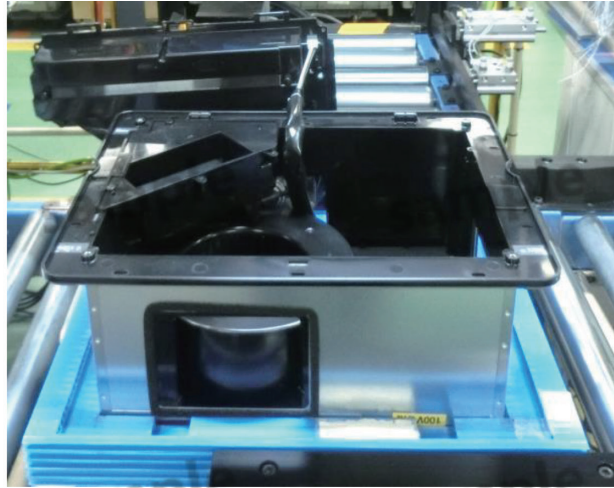
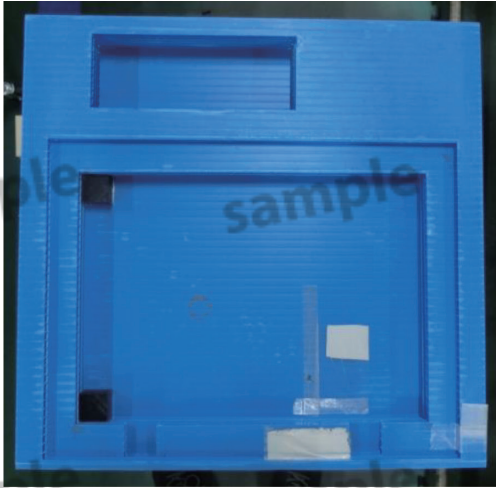


図 9 対策に用いた自作トレイ

「部品同士のズレ」については、図 10 に示すように本体部品と組付部品に軽微な設計変更をすることで対処することにし、検討の結果、6 部品について実施した。図の左に示すように本体部品に突起部を作り、対応する組付部品の該当する位置に凹部を作ることで、人が部品を組み合わせた後に部品同士が動かない ($\pm 0.25\text{mm}$ 未満) ようにした。

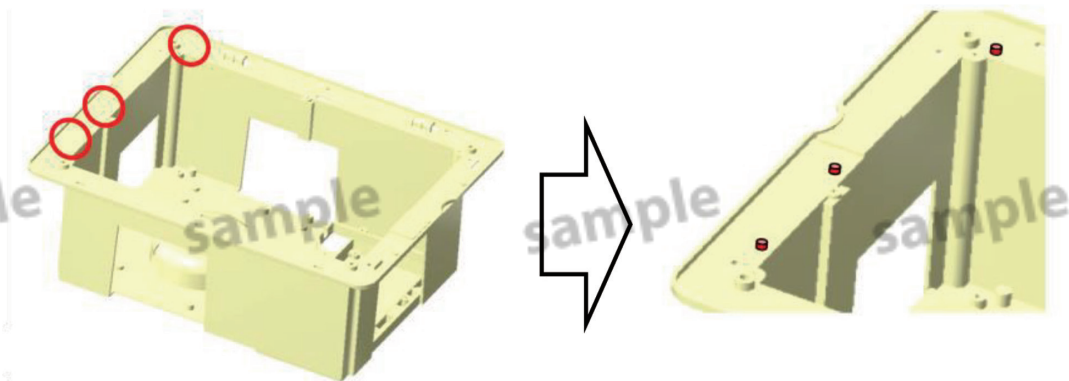


図 10 設計変更の例

最終的に対象としたねじの本数

以上のような対策を実施することで、全 49 本のねじのうち、24 本について自動化が可能な状況を作ることができた。今回、自動化が困難と判断されたものには、以下のようなものがある。例えば、樹脂部品の図面上には表れない微妙な反りや寸法精度のバラツキなどにより、ある部品のねじ締めをすべてロボットアームですることは困難であり、ねじ穴の位置精度を出すために一部を作業者がねじ締めし、精度が出た後にロボットアームにさせる必要があった場合である。また、ケーブルを固定するナイロンクリップのように、柔らかく手で支えなければいけない部品のねじ締めもロボットアームには困難であった。

ロボットアームの検討

このようなねじ締め作業の分析がある程度進み、様々な知見を得られた後、分析と並行しながら、ロボットアーム他の設備に関する具体的な選定を始めた。DENSO、三菱、東芝といったロボットメーカーとコンタクトをとり、今回の自動化対象になっている製品をベースに相談をしながら選定を進めていった。5
ロボットアームの他にも、上述したねじの自動供給機、ねじ穴の位置や状態を把握するためのカメラ、様々なセンサー類も必要になるので、それらについても各メーカーと相談をしながら選定を進めていった。なお、今後の別製品への展開も想定し、今回のプロジェクトで使用する可能性の低いタイプのロボットアームについても調査した。

10 ロボットアームには、6軸で様々な向きに手を動かせるものから、水平多関節ロボット（SCARA: Selective Compliance Assembly Robot Arm）のように一平面に対してのみ動かせるものまで様々ある。ロボットメーカーとの検討の結果、今回の対象になっているねじ締めはすべて上から下へであることから、6軸ロボットに比べて、速度が速く価格も安い水平多関節ロボットを選択した（2017年8月）。

15 自動化工程の概要は以下のとおりである。ロボットアームの先端には電動ドライバーとカメラを付け、工程の中心に置かれた製品に対して、1か所に置かれたねじ締め自動供給機からねじを取り、カメラでねじ穴を確認した後、ねじを締める。

工程編成の検討

作業の集約化

20 次に、全6工程で実施されている作業全体を分析し、対象とした24本のねじ締め作業がどこでされているのかを調査した。その結果（付属資料8の左側を参照）、24本のねじ締め作業時間の合計は1分程度であり、タクトタイムの105秒と比較すると半分程度であるが、組付けから梱包までの全工程における編成効率が90%であるので、その余裕を活用することで、自動化により作業員1名分の工数削減が十分に狙えることがわかった。一方、ねじ締め作業は全体に分散しており、6名の作業員のうち25 3名がねじ締めをしていた。現状の作業順序のまま自動化をすると、ロボットアーム1台あたりのねじ締め本数が少なく、多数のロボットアームを導入する必要があるため、十分な投資効果を見込めないこともわかった。

30 そこで、作業の先行関係を崩さない（例えば本体部品とある組付部品を組み合わせる前に、それらのねじ締め作業をすれば、その組付部品が本体部品に組み付かないので製品を完成させられない）前提で作業順序を変更し、ねじ締め作業が連続するように集約することにした。そのために、プレシデンス・ダイアグラム（付属資料9を参照）を描き、先行関係を把握した上で、ねじ締め作業を集約する作業

順序を検討した結果、3部分に集約できることがわかった（付属資料8の右側を参照）。

この作業順序に対して、作業者を5名とし、ロボットアームの作業も含めてタクトタイム以内に収まる工程編成を検討した。その際、人によるねじ締め作業時間（ねじを箱からとって締め付けるまでの時間）は1本あたり2、3秒であるのに対して、ロボットアームでは6秒程度かかるので、その時間の違いを考慮する必要があった。また、作業者は比較的、柔軟に作業することができるので、ロボットアームを中心に作業を編成し、それに合わせて作業者へ作業を配分するようにした。ここで、どうしてもタクトタイム内での配分ができなかった場合にはさらに、先行関係を考慮しながら作業順序を変更していった。その結果、部分的に作業者とロボットアームによる作業を交互にするように編成することで、作業時間の観点からは、2台のロボットアームの導入により実現可能であることがわかった（図11）。2台の導入であれば、当初の目標を達成できることもわかった。

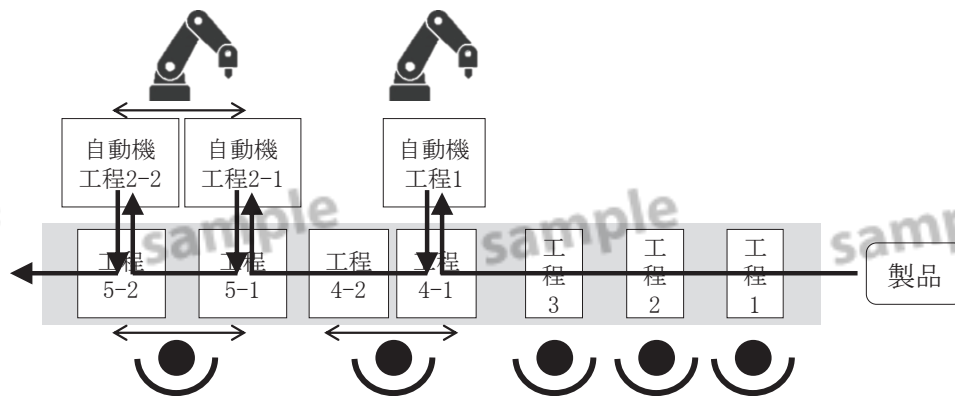


図 11 変更後の工程

ガントチャートによる検証

各作業者と各ロボットアームの作業時間の合計は、すべてタクトタイム以内に収まるようにできたが、一部、作業者とロボットが交互に作業をする部分があるので、実際に作業をすると、お互いが相手の作業終了を待たなければならない可能性がある。その待ち時間が加わることでタクトタイム以内に作業することができない可能性がある。ガントチャートにより作業の干渉の有無を確認した（図12）。

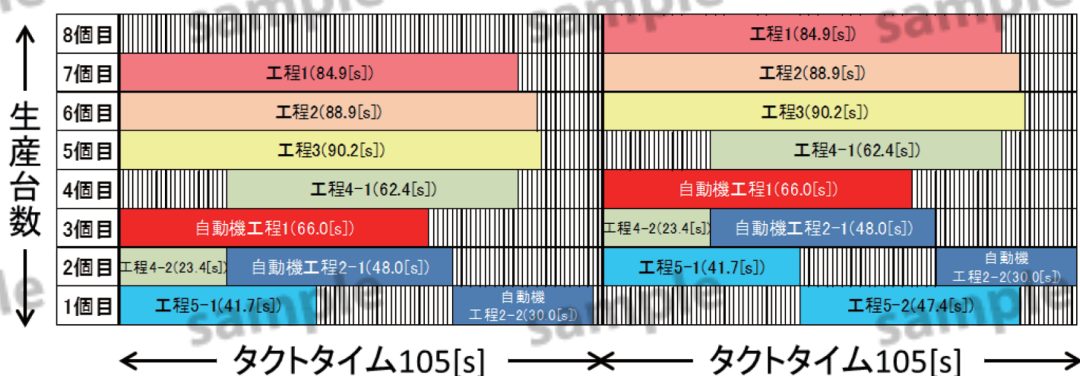


図 12 ガントチャートによる検証

今回、干渉が生じるのは2台のロボットアーム（図には自動化工程1、2と記載）と工程4、5である。ガントチャートを見ると、それぞれ干渉による待ち時間は生じているが、いずれもタクトタイム以内に収まることがわかる。これにより、今回の工程編成での製造は実行可能であることを確認できた。

設備製作

ロボットアームの設備は、加工設備などのある高崎事業所でユニットの形で製作し、動作確認と不具合の修正をした後に、吉井工場のラインに移送する流れで進められた。

製作時には、設備停止が起きないこと、品質異常を検出できること、そして何よりも安全性が確保できることなどが考慮された。上述のようにロボットアームの設備をユニットにしたこともそのための手段であり、例えば安全性に関しては、ユニットにすることで人とロボットの物理的隔離が可能になるため干渉を防止できる。さらに、センサーを取り付けて緊急時には設備を停止するなどの工夫も施した。

ロボットアームの動作に関するティーチングにも試行錯誤が必要であった。例えば、ねじ穴の位置をカメラで検出する際、取得した静止画像をモノクロに変換し、あらかじめねじ穴を撮影したマスター画像と比較することで、ロボットアームの位置の調整に必要な距離を算出し、電動ドライバーとねじ穴の位置を合わせる方法を取った。その、マスター画像の撮影の仕方、カメラで逐次取得する画像の変換の仕方、比較するポイントや閾値などに関しては、いろいろな方法を試しながら誤検出の無い仕組みを構築していった。

その他の工夫についての例を以下に示す。

ビットの振動防止

ロボットアームの先端に取り付けた電動ドライバーでねじ締めをするが、箱状の製品の内側にあるねじ穴に対してねじを締める必要があり、電動ドライバーのビット^[3]は250mmという長いものを使用せざるを得なかった（図13）。これは、従来のねじ締め作業で用いていた最長のものである。作業者は先端部分にねじを付けてから、難なくねじ穴に位置決めすることができるが、ロボットアームの場合はアームの動作に伴い電動ドライバーの先端部が振動してしまい、ねじ穴への位置決めがうまくいかず、ねじがねじ穴にきちんと入らないままねじ締めの動作を開始して（電動ドライバーを下方向に動かして）しまい、ねじが斜めに締まったり、ねじ穴から外れてしまったりするなど、ねじ締め不良が生じて設備が停止することあった。

^[3] ドライバーの先端の軸の部分。

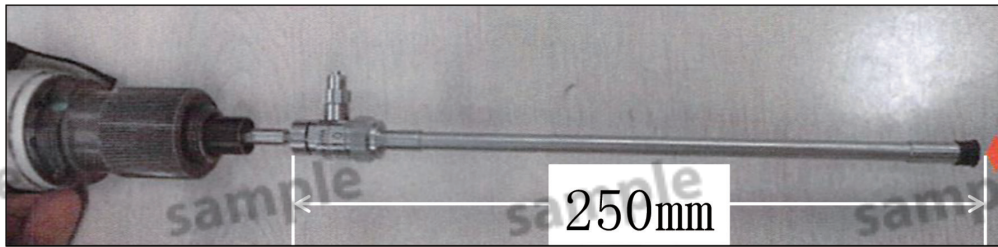


図 13 ビットの長さ

そこで、ロボットアームによるねじ締めのあるべき姿を把握するため、実験をとおして、ねじのピックアップとねじ締めに関する位置決め精度の良品条件を調査した（図 14）。ねじのピックアップについては、ねじの自動供給機のねじの中心から、横縦 $\pm 0.7\text{mm}$ の範囲でそれぞれ 0.1mm 間隔の水準を設定し（合計 225 通り）、ピックアップが成功するか否かを調査した。その結果、ビット先端がねじの中心から $\pm 0.5\text{mm}$ 未満の範囲にあれば、問題なくピックアップできることがわかった。ねじ締めに関しては、締結部材と被締結部材の穴の精度や、ねじの寸法から、ビットの先端が締結部材の穴の中心から $\pm 0.19\text{mm}$ 未満の範囲にあれば、被締結部材との干渉なくねじ締めできることがわかった。

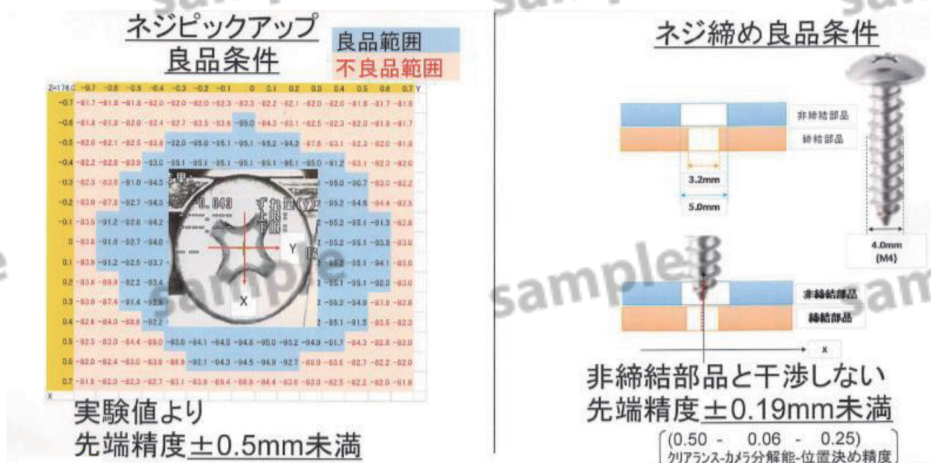


図 14 ねじピックアップ・ねじ締めの良品条件調査

このような検証を繰り返した結果、ロボットアームに取り付けた電動ドライバーのビットをパイプ状のガイドで固定し、無給油ブッシュ（軸受け）とともに固定する治具をロボットアームに取り付けることで、ビットの先端のブレを $\pm 0.1\text{mm}$ に抑制することができた（図 15）。

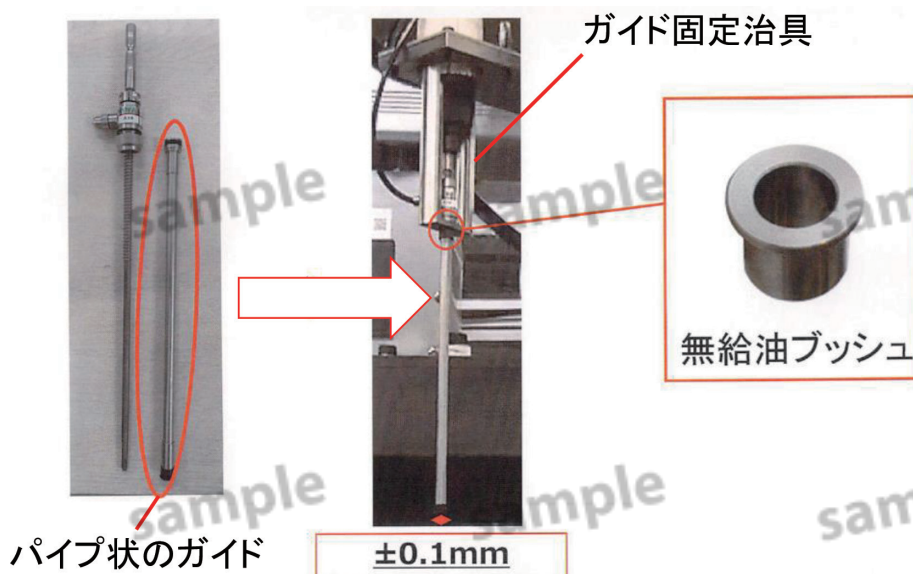


図 15 ロボットアームの改善

ねじ締め異常の検出

15 電動ドライバーでねじを締める際には、「ねじ浮き」、「斜め打ち」、「ねじ間違い」などのねじ締め異常が起こることがある。ねじ浮きとは、ねじが最後まで締まらず、ねじ頭と被締結部材に隙間ができる異常である。斜め打ちとは、ねじが斜めに締まる異常である。ねじ間違いとは、本来のねじとは異なる種類（ねじの長さなど）のねじを締める異常である。これらは、作業者であれば目視により検出することができるが、ロボットアームの場合は検出が難しく、カメラなどを用いる必要がある。

20 様々な検出方法を検討した結果が図 16 である。カメラによる検出では、斜め打ちはねじの角度（ねじ頭の位置）が大きく異なる場合が多く、検出しやすかった。一方、ねじ浮きは、ねじ頭と被締結部材の隙間が大きい場合は検出できるが、小さい場合は検出が困難であった。さらに、ねじ間違いの場合は、今回対象としているねじの場合、異なるねじを締めても最後まで締まってしまうことから、カメラによる検出は不可能であった。

25 締結後のねじ頭の位置をセンサーで検知する方法では、斜め打ちとねじ浮きに関しては概ね検出可能であったが、ねじの角度や、ねじ頭と締結部材の隙間が小さい場合には検出できなかった。さらに、ねじ間違いに関してはカメラと同じ理由により検出は不可能であった。

30 試行錯誤の結果、電動ドライバーによるねじ締めの時間により検出する方法を考案した。3種類のねじ締め異常のいずれかが生じると、正しいねじによるねじ締め作業の時間に比べて、ねじ締め作業時間が短くなったり、長くなったりする。このことから、電動ドライバーから検出できる電気的な信号を用いて、ねじ締め作業時間を計測することにした。具体的には電動ドライバーのスイッチが ON になった時点と、ねじ締めが終了し電動ドライバーが停止した時点の信号をそれぞれ検出し、その間の時間をねじ

締め時間として計測し、その時間が既定の時間の範囲から出た（短いか長い）際に、ねじ締め異常として検出することにした。

この際、従来の電動ドライバーの回転速度は2,000rpm（rotations per minute）であり、ねじの長さの差が小さい場合はねじ締め時間の差が僅かであり、ねじ締め作業時間ではねじ締め異常を検出できないことがあった（この時間の差は、慣れた作業員で気づきにくいものであった）。そこで、タクトタイムを超過しない範囲で電動ドライバーの回転速度を遅めて（800rpm）ねじ締め作業時間を長くすることで検出の精度を高めた結果、ねじの長さが同程度のものに関しても問題なくねじ締め異常を検出できるようになった。

| 検出方法/ 異常の種類 | ねじ浮き | 斜め打ち | ねじ間違い |
|----------------|------|------|-------|
| 作業員 | ○ | ○ | △ |
| カメラ | △ | ○ | × |
| 高さセンサー | △ | △ | × |
| ねじ締め時間 | ○ | ○ | ○ |

図 16 ねじ締め異常の検出方法の検討

吉井工場への移設・稼働と調整

高崎事業所でのテストを終えた後、2018年10月にユニットを吉井工場に移設し、吉井工場の生産管理システムとの接続などの作業を実施した。その後、稼働テストをしたところ、カメラによるねじ穴の検出などで不具合が生じ、2か月ほどその調整をした（その間、ロボットアームが実施する作業は、作業員が担当することで日々の製造に支障が出ないようにした）。これらの不具合の原因は、高崎事業所と吉井工場の環境の違い（照明の当たり方など）によるものであった。

その後も、稼働させる中でいくつかの不具合が生じた。例えば、ねじの自動供給機に関して、高崎事業所におけるテストの際には不具合が生じなかったが、多くの製品を製造する中で時々、ねじが詰まり、ロボットアームの電動ドライバーでねじを取ることができず、停止する不具合が生じた。当初の自動供給機は人による作業を想定したものであり、供給されたねじを少し手前に引きながら取り出す構造になっていたものを、改造して上方向にねじを取れるようにしていた。しかし、繰り返しねじを取ると、奥から手

前に供給されるねじが引っ掛かることがあり、ねじを上方向に取れない不具合が生じることがわかった。そこで、ねじを上方向に取ることを想定した自動供給機に変更した結果、この不具合をなくすことができた（図 17）。

以上のような試行錯誤の末、最終的に自動化工程が稼働した（図 18）。

5

10



図 17 ねじ自動供給機の変更

15

20

25

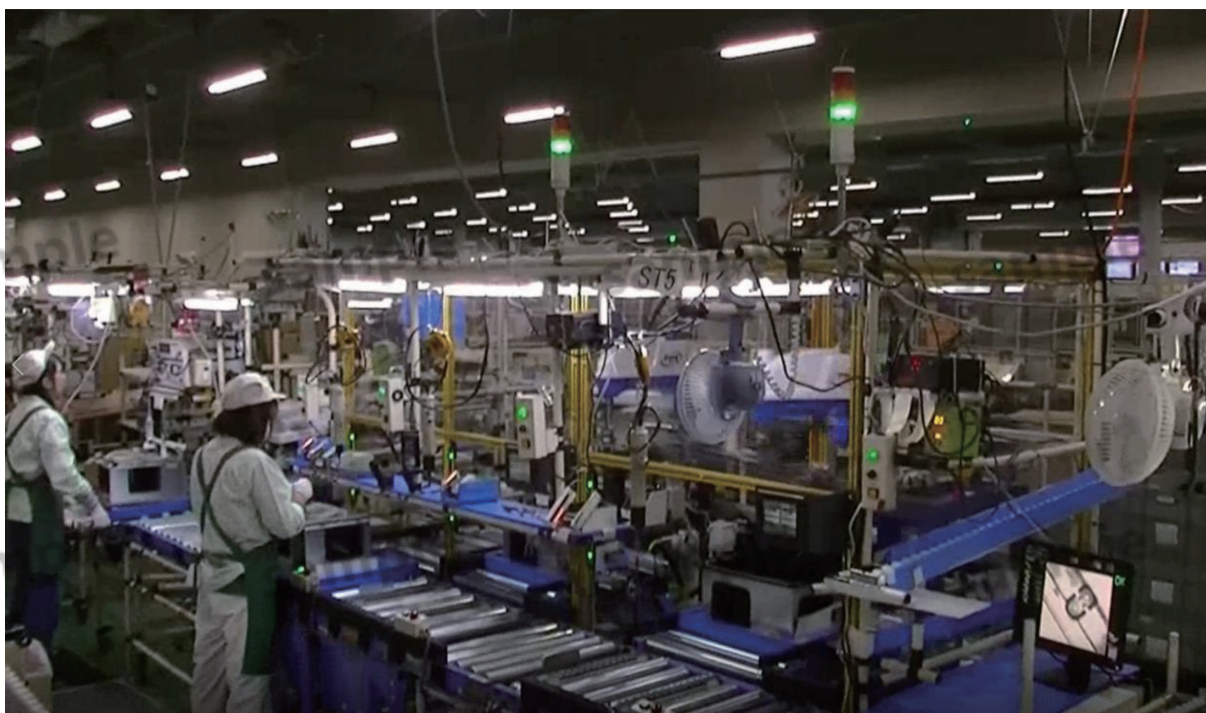


図 18 自動化工程の様子

30

プロジェクトを振り返って

プロジェクトが一段落した段階で、本プロジェクトを担当された前出の長沼氏に振り返っていただいた(2019年5月9日)。

長沼氏：今回、自動化に取り組んだのは初めてだったので、想定していたより作業に時間がかかりました。高崎事業所でロボットアームのユニットを製作したわけですが、実際に組み上げていく過程で設計的な不具合が見つかることもありました。例えば、ロボットアームが予想していない部分に干渉するなどです。そのような場合、部材を再手配し、製作しなおすなどもありました。

それから、今回はロボットアームとカメラは別のメーカーのものを使用しました。各機械に問題が生じた際には、それぞれのメーカーに問い合わせることで解決することができました。しかし、それらを接続する際に生じた問題については「当社の設備の設定には問題ないようです」といった回答しかもらえず、試行錯誤しながら解決する必要がありました。

その一方で、吉井工場への移設の時期は、工場の製造計画や移設をお願いしていた業者の都合などで決まっていたので、高崎事業所で予定していた作業を終えることに苦労しました。移設後にもいくつか不具合が生じ、その都度、吉井工場で対処しましたが、今思えば、そのうちのいくつかは高崎事業所でのテストのやり方などによっては発見できたかもしれません。今後、別の工程でも自動化が検討されていますが、今回、いろいろなノウハウを得ることができましたので、その際には大いに役立てられると思っています。

付属資料 1 会社概要

※会社 Website より引用

| | |
|---------|----------------------------|
| 商号 | マックス株式会社 |
| 創立 | 昭和 17 年 11 月 26 日 |
| 代表取締役社長 | 黒沢 光照 |
| 本社所在地 | 〒103-8502 東京都中央区日本橋箱崎町 6-6 |
| 資本金 | 123 億 6 千 7 百万円 |
| 決算期 | 毎年 3 月 31 日 (年 1 回) |

※2018 年 4 月 現在

マックスは、『人』が尊重され、『人』が成長することにより、会社も成長すると考えます。

マックスは、社員の働きを新しい価値の創造に向けて結集し、お客様に役立つものをカタチにして供給しています。

我が社が成長し続けるには、社員一人ひとりが、経営基本姿勢を行動の原点に、顧客主義を徹底して、時代を先取り、事業領域・業務領域の変化と拡大に向け、積極的で自在な創造活動を実践し続けることです。

この取り組みにより、社員は成長し、会社が成長して利益が生み出されます。生み出された成果は、わかりやすい形で公正に配分され、企業としての社会的役割を果たしてまいります。

『経営基本姿勢』

いきいきと楽しく力を合わせ、皆揃って成長していく集団を目指す

1. ガラス張りの経営に徹する

連結決算を重視し、一般公正妥当な会計基準に基づき、企業の方針、業績、実態を適時・適切に社内外に公開してまいります。

2. 全員参画の経営に徹する

社員は仕事を通して積極的に経営に参加し、それぞれの役割の中で事業成果を拡大してまいります。

3. 成果配分の経営に徹する

結実された成果は、「株主」「社員」「社会」に公正に配分してまいります。

付属資料 2 会社沿革

※会社 Website より引用

| | |
|------|---|
| 1942 | 山田航空工業(株)の名称で、航空機のウイング部品メーカーとして設立。 |
| 1945 | 山田興業(株)と改称、事務器の生産を開始し、マックスの基礎を築く。 |
| 1949 | 販売体制確立のため、販売会社としてスマート製販(株)を設立。('54 マックス製販(株)と改称。) |
| 1955 | 山田興業(株)をマックス工業(株)と改称。 |
| 1963 | 米国ボステッチ社と資本・技術・販売提携。('65 テキストロン社傘下に。) 消耗品専用工場として藤岡工場を新設・稼働。 |
| 1964 | マックス工業(株)とマックス製販(株)が合併、マックス(株)と改称。製造から販売までの一貫体制を敷く。 |
| 1970 | 東京証券取引所に上場。 |
| 1973 | 資本・技術・販売の3部門にわたり提携関係にあった、テキストロン社の出資比率50%へ。 |
| 1981 | 東京都中央区日本橋箱崎町に本社を移転。 |
| 1988 | オフィス機器の生産を目的とする玉村工場を新設・稼働。 |
| 1990 | マレーシアに MAX FASTENERS(M)SDN. BHD. を設立。 |
| 1991 | 玉村工場敷地内に機工品事業の専用工場を新設・稼働。 |
| 1993 | 米国スタンレーワークス社('86 テキストロン社からボステッチ事業部を買収)との資本・技術・販売提携を解消。 アメリカに販売会社 MAX USA CORP. を設立。独自の海外戦略開始。 |
| 2000 | 浴室換気乾燥暖房機メーカーであるシンワハイテックグループ2社を買収し、住環境機器事業に進出。 |
| 2003 | 中国に電子事務機の生産を目的とする美克司電子機械(深圳)を設立。 |
| 2005 | タイに釘打機の生産を目的とする MAX(THAILAND)CO., LTD. を設立。 |
| 2006 | オランダに販売会社 MAX EUROPE B.V. を設立。 |
| 2007 | 住環境機器事業の主力工場として、吉井工場を新設・稼働。 |
| 2010 | 車いすメーカーである(株)カワムラサイクルの株式を取得し、連結子会社化。 中国に浴室暖房換気乾燥機の生産を目的とする美克司電子機械(蘇州)有限公司を設立。 シンガポールに販売会社 MAX ASIA PTE.LTD. 設立。 |
| 2011 | 玉村工場敷地内に社屋を新設し、開発センターを高崎より移転。 |
| 2013 | タイに事務機の生産を目的とするヘマラート イースタン シーボード工場を新設・稼働。 |
| 2014 | 表示作成機「ビーポップ」欧州代理店の Lighthouse(UK)Holdco Ltd. の全株式取得。 |
| 2017 | 国内販売子会社を統合し、マックス販売(株)と改称。 |
| 2018 | タイに鉄筋結束機消耗品「タイワイヤ」の生産工場を新設・稼働。 |

付属資料 3 主要な事業内容

※会社 Website より引用

インダストリアル機器部門

釘打機、ガンタッカ、ねじ打機、ステープル、ネイル、ねじ、エアコンプレッサ、レーザ墨出器、鉄筋結束機、コンクリート用ピン打機、ガスネイラ、ハンマドリル、充電式インパクトドライバ、充電式丸のこ、野菜結束機、誘引結束機、袋とじ機、充電式剪定はさみ、浴室暖房換気乾燥機、24時間換気システム、床暖房システム、ディスプレイシステム、住宅用火災警報器など

オフィス機器部門

オートステープラ、プラスチックリング製本機、ホッチキス、ホッチキス針、紙針ホッチキス、ナンバリング、パンチ、スタンプ台、朱肉、タイムレコーダ、タイムカード、チェックライタ、カッティングマシン、プリンティングマシン、ラベルプリンタ、チューブマーカー、筆耕ソフト、筆耕マシン、平行定規など

HCR 機器部門

車いす、その他福祉用品

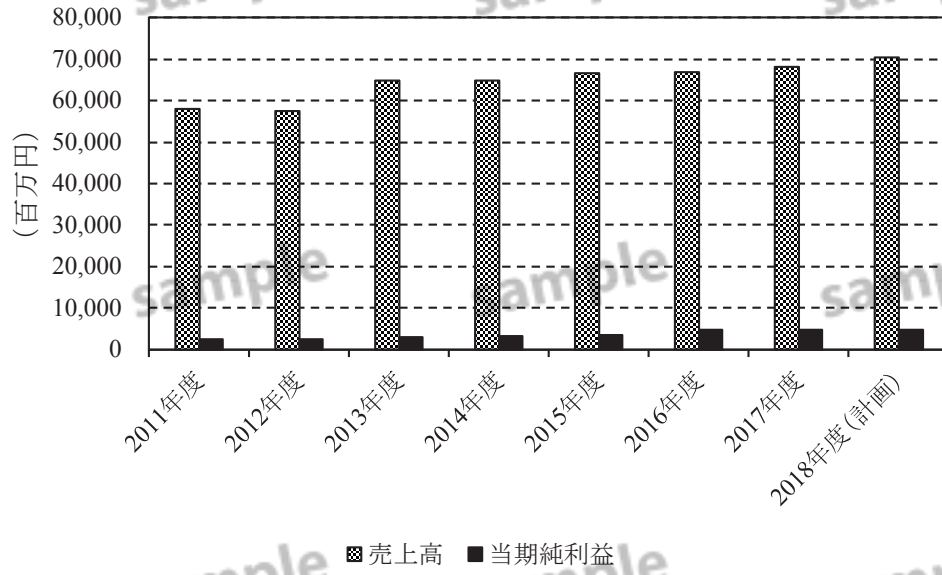
※ HCR ... Home Care and Rehabilitation

| | | |
|---|--|--|
| <p>オフィス事業</p>  <p>ホッチキスを基盤に、ステーションリーや事務機械の展開で、新しいオフィスワークをサポートします。</p> | <p>機工品事業</p>  <p>作業現場に最適な機能とカタチを製品化した、エア工具、充電工具、コンクリートツールを供給しています。</p> | <p>住環境機器事業</p>  <p>浴室暖房換気乾燥機や床暖房システムなど快適な住環境づくりを提案します。</p> |
| <p>AF事業</p>  <p>農業・食品の分野でユニークな結束機器が活躍しています。</p> | <p>オートステープラ事業</p>  <p>デジタルプリント環境におけるフィニッシングソリューションをサポートします。</p> | |

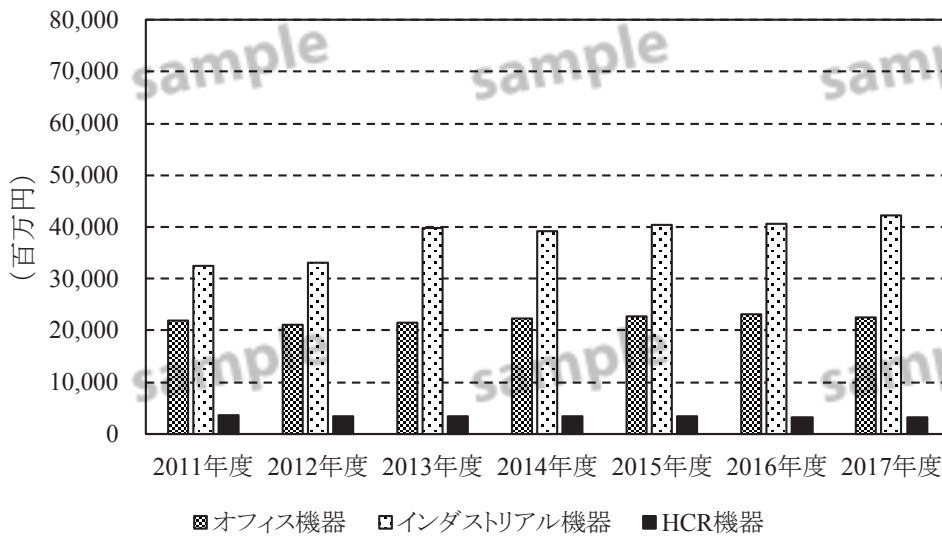
※ AF ... Agriculture Food

付属資料 4 業績の推移

※同社有価証券報告書などから作成







売上高と当期純利益 (連結)



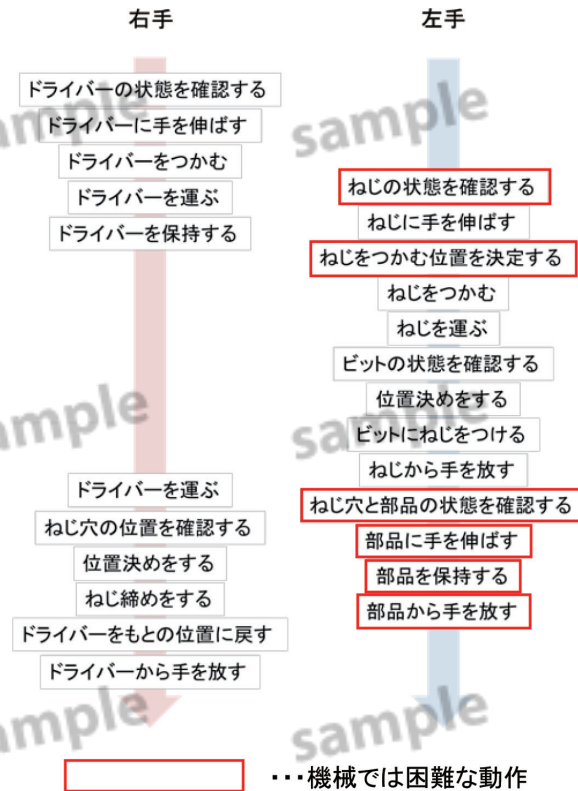
事業別の販売実績

付属資料 5 浴室暖房・換気・乾燥機のラインナップ

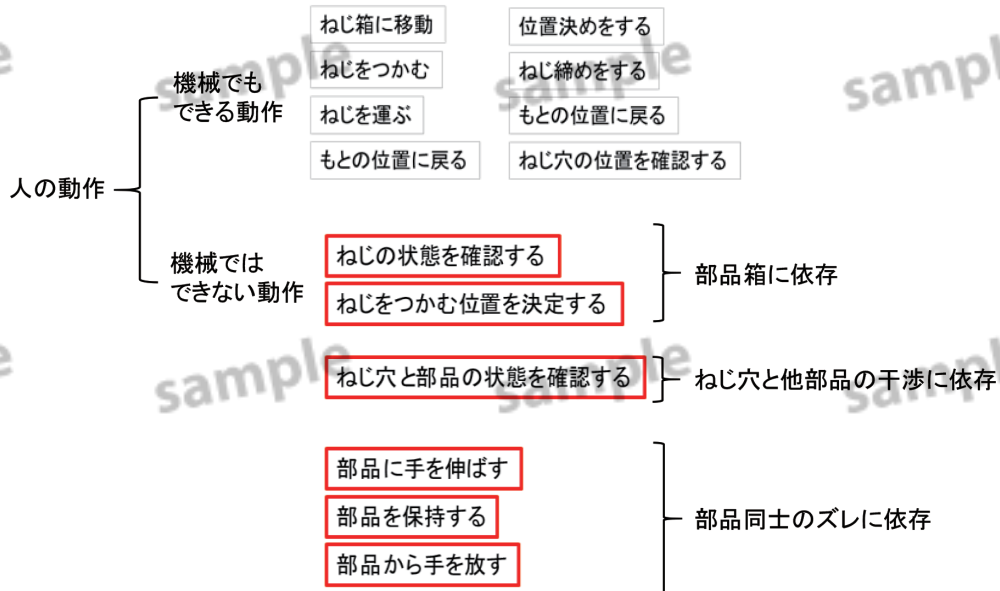
※ 2019年2月現在 同社 Website から引用

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| <p>『ドライファン』 1室換気</p> <p>浴室の換気・乾燥・暖房・涼風の機能をもった機器です。</p> |  <p>■BS-261H-CX オープン価格 ■特長 24時間換気機能付 「プラズマクラスター」技術搭載 200V</p> |  <p>■BS-261H オープン価格 ■特長 24時間換気機能付 200V</p> |  <p>■BS-161H-CX オープン価格 ■特長 24時間換気機能付 「プラズマクラスター」技術搭載 100V</p> |  <p>■BS-161H オープン価格 ■特長 24時間換気機能付 100V</p> |
| <p>『ドライファン』 2室換気</p> <p>浴室の換気・乾燥・暖房・涼風の機能に加え、排気用の副吸込グリルを1箇所設けた機器です。</p> |  <p>■BS-132HM-CX ¥157,000 (税込み¥169,560) ■特長 24時間換気機能付き 「プラズマクラスター」技術搭載 100V</p> |  <p>■BS-132HM ¥139,000 (税込み¥150,120) ■特長 24時間換気機能付き 100V</p> |  <p>■BS-132EHA ¥125,000 (税込み¥135,000) ■特長 24時間換気機能付 100V</p> |  <p>■BS-132HA ¥120,000 (税込み¥129,600) ■特長 24時間換気機能付 100V</p> |
| <p>『ドライファン』 3室換気</p> <p>浴室の換気・乾燥・暖房・涼風の機能に加え、排気用の副吸込グリルを2箇所設けた機器です。</p> |  <p>■BS-133HM-CX ¥157,000 (税込み¥169,560) ■特長 24時間換気機能付き 「プラズマクラスター」技術搭載 100V</p> |  <p>■BS-133HM ¥139,000 (税込み¥150,120) ■特長 24時間換気機能付き 100V</p> |  <p>■BS-133EHA ¥125,000 (税込み¥135,000) ■特長 24時間換気機能付 100V</p> |  <p>■BS-133HA ¥120,000 (税込み¥129,600) ■特長 24時間換気機能付 100V</p> |
| <p>『ドライファン』 リフォーム</p> <p>浴室の換気・乾燥・暖房・涼風の機能をもった機器です。副吸込グリルを設けられる機種のご用意もあります。 浴室天井アダプタを使えば、今お使いの開口が大きい浴室乾燥機もリフォームできます。</p> |  <p>■BRS-C101HR-CX オープン価格 ■特長 1室換気 24時間換気機能付 「プラズマクラスター」技術搭載 100V</p> |  <p>■BRS-C102HR-CX オープン価格 ■特長 2室換気 24時間換気機能付 「プラズマクラスター」技術搭載 100V</p> |  <p>■BRS-C103HR-CX オープン価格 ■特長 3室換気 4時間換気機能付 「プラズマクラスター」技術搭載 100V</p> |  <p>■BRS-C100 オープン価格 ■特長 循環暖房機</p> |

付属資料 6 ねじ締め作業の動作の分類



1) 両手の動作の流れ



※右手の動作はドライバーを持たせたロボットアームで代替可能

2) 動作の分類 (左手)

付属資料 7 ねじの分類

| 部品 | | 自動化のしやすさ | | | ○の数 |
|-----------|-----------------|----------|---------|---------|-----|
| 本体部品 | 組付部品 | ねじの供給方法 | 部品同士のズレ | 他部品との干渉 | |
| メインキャビネット | 3P端子台 | × | × | ○ | 1 |
| メインキャビネット | 2P端子台 | × | × | ○ | 1 |
| メインキャビネット | ショウボウカバー | × | ○ | ○ | 2 |
| | | × | ○ | ○ | 2 |
| メインキャビネット | ナイロクリップ | × | × | ○ | 1 |
| メインキャビネット | アースワイヤ | × | × | ○ | 1 |
| メインキャビネット | ナイロクリップ | × | × | ○ | 1 |
| メインキャビネット | モータ固定器 | × | × | ○ | 1 |
| | | × | × | ○ | 1 |
| | | × | × | ○ | 1 |
| | | × | × | ○ | 1 |
| メインキャビネット | ナイロクリップ | × | × | ○ | 1 |
| メインキャビネット | ナイロクリップ | × | × | ○ | 1 |
| メインキャビネット | キバンユニット | × | × | × | 0 |
| | | × | × | × | 0 |
| | | × | × | × | 0 |
| | | × | × | × | 0 |
| | | × | × | × | 0 |
| | | × | × | × | 0 |
| メインキャビネット | カンケーシング | × | × | × | 0 |
| | | × | × | × | 0 |
| | | × | × | × | 0 |
| メインキャビネット | ヨクシツダンパ ユニット | × | × | ○ | 1 |
| | | × | × | ○ | 1 |
| メインキャビネット | キバンフタ | × | × | × | 0 |
| | | × | × | × | 0 |
| | | × | × | × | 0 |
| | | × | × | × | 0 |
| | | × | × | × | 0 |
| | | × | × | × | 0 |
| | | × | × | × | 0 |
| | | × | × | × | 0 |
| | | × | × | × | 0 |
| | | × | × | × | 0 |
| メインキャビネット | ジュンカン ユニット | × | × | ○ | 1 |
| | | × | × | ○ | 1 |
| | | × | × | ○ | 1 |
| | | × | × | ○ | 1 |
| | | × | × | ○ | 1 |
| | | × | × | ○ | 1 |
| メインキャビネット | ナイロクリップ | × | × | ○ | 1 |
| メインキャビネット | フネンカバー | × | × | ○ | 1 |
| メインキャビネット | | × | × | ○ | 1 |
| メインキャビネット | ナイロクリップ | × | × | ○ | 1 |
| メインキャビネット | ナイロクリップ | × | × | ○ | 1 |

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

不 許 複 製

慶應義塾大学ビジネス・スクール
