

## リリーフバルブ組立作業 自動化技術の開発

### Development of Relief Valve Automatic assembly technology

瀧口 真樹  
TAKIGUCHI Masaki

#### 要 旨

建設機械には油圧シリンダや油圧モータなどのアクチュエータが取り付けられており、これらのアクチュエータをコントロールバルブ（写真1）で制御している。このコントロールバルブには各アクチュエータを保護する目的で油の圧力とその流量を制限するリリーフバルブ（以下RV）が組み込まれている。RVはシール部品（Oリングとバックアップリング（以下BUリング））と金属部品にて構成され、その部品点数が多い。このRVの組立は手作業で行っており、自動組立技術を開発・実用化することで、作業への負担を軽減することができ、更に生産性や組付品質の向上が期待できる。

今回、品質と生産性の向上を達成したRV組立作業の自動化技術を開発したので解説する。

#### Abstract

Construction machinery is equipped with hydraulic cylinders, hydraulic motors, and other actuators, and these actuators are controlled with control valves (Photo 1). These control valves have built-in relief valves (RV) which restrict oil pressure and flow rate in order to protect each actuator. An RV is comprised of seal parts (O-rings and back-up (BU) rings) and metal parts, and the number of parts is large. Assembly of an RV is done by hand, and developing practical techniques for automatic assembly can reduce the burden on workers, and improve productivity and assembly quality.

This paper describes the development of automation technology for RV assembly work which has achieved improved quality and productivity.

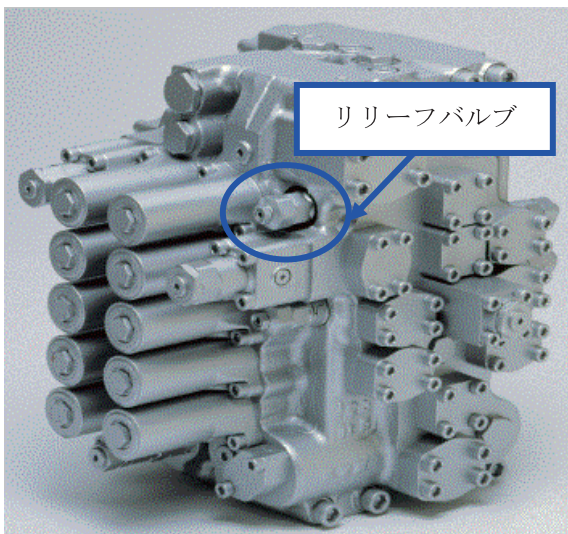


写真1 コントロールバルブ外観

#### 1 緒言

これまでRVの組立は手作業で行ってきた。構成する部品点数が多いこと、部品間のクリアランスが厳しい組付、変形しやすいシール部品の組付など人による作業の特徴であるカンコツや器用さを利用するためである。また、その組付部品はどれも製品機能に大きな影響を及ぼすため、視覚や触覚など人の五感に頼りながらの組立作業となる。

この作業を自動化できれば、組立を担当する作業への負担を軽減できる。ただし、前述したシール部品の組付など難易度の高い技術開発への挑戦が必要であることや、品質保証度を低下させない取組みが必須であることなど、組立作業を自動化する上でクリアすべき課題は多い。

今回、これらの課題を解決する自動組立技術を開

発し、量産設備を製作・導入することで、品質を確保しつつ、生産性向上を図る活動をした。

## 2 目的

RV自動組立技術の開発、実用化による生産性の向上

## 3 目標

- ①マシンサイクルタイム：現状同等以下
- ②出来高生産性：現状ライン比30%向上
- ③自動化による部品への傷付き、組付ミスなきこと

## 4 要件

目標を達成するために、以下の要件を設定し取組んだ。

- ①手作業による組付順序に左右されることなく、自動化しやすい組付順序を採用する。その上で必要となる組付技術を開発する
- ②開発する技術は人の作業と同等以上の品質を確保する
- ③現有スペース内で対応するために、設備の省スペース化を図る
- ④不良品を後工程に流出させない仕組みを盛り込む

## 5 対象製品・対象工程について

図1にRVの部品外観を示す。RVはシール部品を含む計17種20部品から構成される。このRVの組立作業は、組付作業と締付作業から構成され、組付作業は更にシール部品組付と金属部品組付に分類される。

本製品ならびに組立工程の特徴として、以下の点があげられる。

- ①リリース圧力と流量調整値に違いはあるが、部品構成が同じ単一品番である
- ②単一品番であるが故に組立に際して段取り替え作業が不要である
- ③主要なコントロールバルブに複数個搭載されるため生産数量が多い
- ④Oリングなどの柔軟部品や小型の部品が多く、人の器用さに依存した組付作業が多い



図1 RV外観

## 6 開発した設備の概要

図2に今回製作した量産設備外観を示す。設備は作業員が部品を設備に供給するための部品屋台、金属部品にシール部品を組付するためのシール部品自動組立機、金属部品を組付・締付するためのRV自動組立機から構成される。各自動機には天吊りタイプの4軸多関節ロボットが配置されており、本設備はこのロボットと各種装置を融合させた構成としている。

設備の主な特徴は以下の通りである。

- ①設備前面と背面に大型扉を配置することによるメンテナンス性の確保と視認性の向上
- ②スペースの有効活用と省スペース化のために制御盤を設備下部に設置
- ③物流マンの作業性向上を狙い、設備作業員と反対の設備背面側に部品の供給箇所を集約

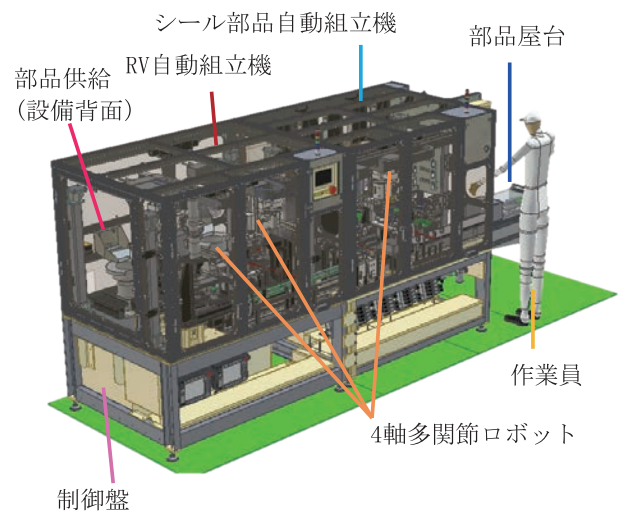


図2 量産設備外観

## 7 開発した技術について

### 7.1 組付工法の開発

組付作業を自動化するにあたり、作業員の作業内容を分析した。その結果、両手を巧みに利用できる

特性を活かし、部品の姿勢変更を繰り返しながら作業を進めていることがわかった。人手による作業では部品の姿勢変更は容易であるが、それを機械に置き換えようとした場合、専用の機構が必要となり、設備が複雑化してしまう。

しかし、シール部品と金属部品で組付を層別することにより、それぞれ一方からの組付が可能となることが判明した(図3)。そこで今回は、部品の姿勢変更を排除するために、シール部品組付とその部品を含めた金属部品組付の2つに分別した設備による組付方策を採用した。これにより、設備構成がシンプルになり、またマシンサイクルタイムの中で組付作業に利用できる時間の割合を増やすことができるなどのメリットが生まれた。

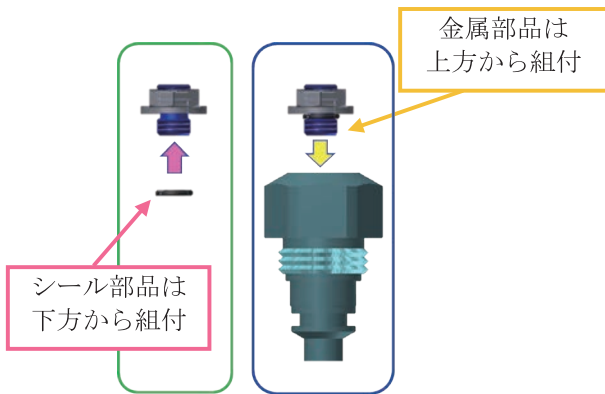


図3 部品別組付方向の違い

### 7.2 シール部品の自動組付

シール部品を対象とした自動組付技術について説明する。自動化に際し、考慮しなければならない事項は以下のとおりである。

- ①柔軟性があるため変形しやすい  
(BUリングはバイアスカット式で切り口がある)
- ②装着部分が一体溝形状になっているため、組付時にはシール部品内径を拡大する必要がある
- ③OリングとBUリングを重ねて組付する箇所が数ヵ所ある

既存ラインで利用されているシール部品組付の補助用ジグを参考に、上記事項に対応するガイドジグを考案した(図4)。その特徴を以下に示す。

- ①ストレート部外径寸法をシール部品内径寸法より大きくし、シール部品の緊迫力を利用した把持が可能
- ②部品装着部にむけてテーパ形状にすることで、シール部品を拡大
- ③シール部品が組付けられる部位以外は、部品装着部に嵌合(挿入)される。それにより、組付部位以外には触れることなくシール部品組付が

- 可能となり、部品、シール共に傷付きを防止
- ④複数個のシール部品を保持することで、OリングとBUリングを同時組付

図4のガイドジグを利用したシール部品組付方法を図5に示す。ガイドジグに対象となるシール部品を挿入し、シール部品押上げ用爪がガイドジグ形状に倣いながらシール部品を押し上げることで、シール部品が狙いの組付位置へ組付けられる。

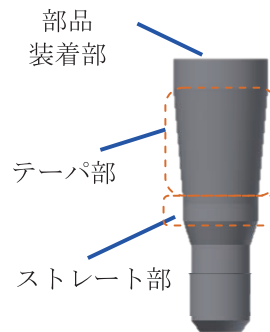


図4 ガイドジグ

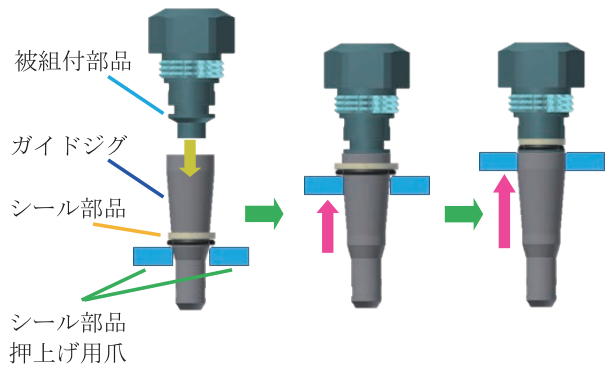


図5 シール部品組付方法

### 7.3 狭クリアランス部品の自動組付

今回の組付作業自動化には、繰返し動作が得意かつ、繰返し位置決め精度が高いロボットを利用している。しかし、メインポペットとピストンのクリアランスは、ロボットの繰返し位置決め精度より小さく(図6)、単純な位置制御だけでは安定した組付が困難であることが予想される。一般的には、画像処理装置や力センサを利用するなど位置や力を監視・補正する方法が考えられるが、そのためには検出機器を設置するなどの処置が必要となる。

そこで今回は、設備構成を極力シンプルにするために、ロボットのソフトウェアに工夫を凝らし、組付動作時の速度最適化とコンプライアンス制御<sup>注1)</sup>を組み合わせることで狭クリアランス組付を実現した。また、組付時のロボット各軸の電流負荷率を監視することにより、組付時に発生する部品同士のかじり検出を行い、組付不良品の流出防止を図っている(図7)。

注1) 各軸モータの電流値を監視、かつ、制限して柔ら

かさを實現し、対象物に柔らかくなじませながら組付を行う制御のこと。

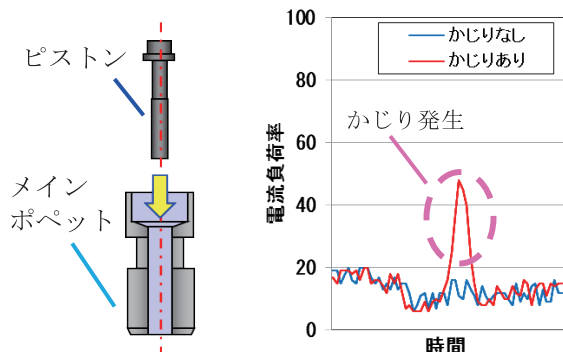


図6 狭クリアランス組付 図7 電流負荷率の推移

#### 7.4 アジャスタの自動締付

プラグにアジャスタを仮締付する方法について説明する。仮締付までとしている理由は、後工程にあるリリース圧力の調圧工程<sup>注2)</sup>にて本締付するためであり、アジャスタに組付けたOリングがプラグに着座するまでを仮締付としている。

注2) RVのリリース圧を設定する工程のこと。

アジャスタはネジピッチが小さく、ネジの締め込み時にかじりが発生しやすい。作業者がこの作業を行う際には、手感にて押付け力と回転力を調整しながら締付を行う。仮にかじりが生じた場合、その抵抗を感じ取り、ネジを一度緩めてから締付直す動作を行う。

今回は、作業者が行っている動作を参考に、市販の安価なモータを利用してかじりの検出をしながら締付する仕組みを開発した。

選定したモータは仮締付に適した低トルクに対応したものである。また、モータの出力トルクを制限する機能を有しており、締付トルクを全数ほぼ一定値とすることが可能である。さらに、締付途中で異常なトルク出力がないか確認することで、かじりを検出できる仕組みを取り入れた。

アジャスタ仮締付概要を図8に示す。アジャスタには締付を行うための六角穴があるが、その位相は毎回ランダムである。毎回変わる位相を吸収する工夫として、ツールには入手性と挿入性を考慮した市販品のボールタイプの六角レンチを採用し、機構には固定されていないアジャスタに対しツール中心を一致させるためのフローティング機構を装備した。これにより、位相が一致しない状態からでもツールがアジャスタの六角穴に入り込むようになる。

以上より、仮締付ミスの発生がなく、また締付品質を安定化できる締付システムを実現した。

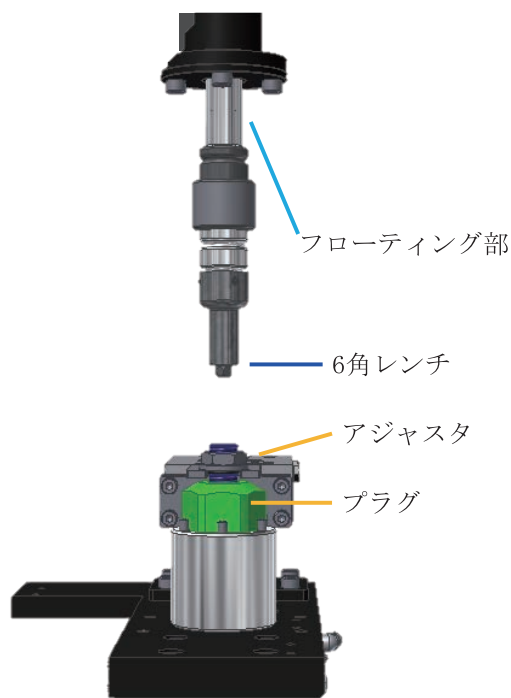


図8 アジャスタ仮締付概要

#### 7.5 スプリング小の自動組付

スプリング小の組付技術について説明する。対象のスプリング小の特徴として、線径が細く剛性が低い変形しやすいこと、またL(長さ)/D(直径)が大きく、形状的に組付後の姿勢が安定しないことがあげられる。

手作業の場合、変形と倒れが生じないように注意しながら組付し、その後目視にて良否を確認することができる。自動化した場合、組付異常を発生させない機構(発生防止)あるいは組付異常を検出する機構(流出防止)を検討する必要がある。

今回は発生防止に主眼を置き、スプリング小の変形と倒れが生じない組付技術を開発した。ロボットハンドには組付時に倒れやすいスプリング小を狙いの位置まで導けるよう、センタリングシャフトを備えることで組付の確実性を向上させた(図9)。併せて、スプリング小组付後の倒れを防止するためのブラケットを装置側に設置し、ロボットのスプリング組付動作と同期させることで、組付後の姿勢を安定させる工夫をした(図10)。

#### 7.6 グリスの自動塗布

RVの構成部品は、コントロールバルブからの圧力を解放する際に摺動を伴う。BUリングを含むシール部品組付箇所もそれに該当するが、摺動性が低下しないよう、シール部品にグリスを塗布する。仮にグリス未塗布の場合、圧力解放機能が損なわれる。

グリス塗布箇所の側面を観察すると、BUリングが平面に対し、Oリングは曲面になっている(図11)。塗布作業を自動化するには、局所的な塗布に

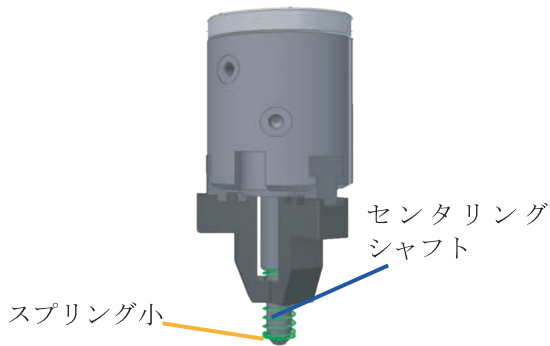


図9 スプリング小用ハンド

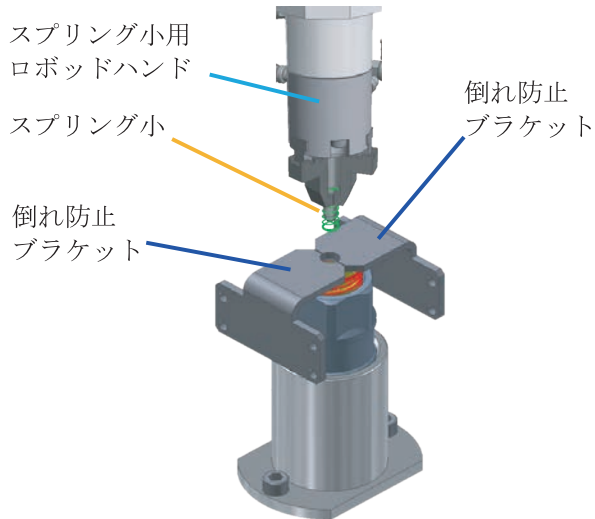


図10 スプリング小の組付方法

ならないよう塗布面形状の変化に対応可能な仕組みが必要になる。

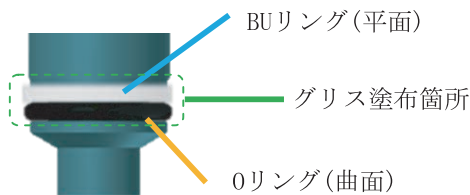


図11 グリス塗布面拡大図

今回、伸縮性のあるローラを利用した転写式グリス塗布方法（図12）を開発し対応した。グリス用供給装置から圧送されたグリスをローラに転写し、それを部品へ塗布する。

グリスの塗布動作としては、ローラの前に固定された部品に対し、ローラが前後に動作することで外周へグリスを塗布する。このとき、ローラが部品の外径にならうよう、ローラを取付けたアームには伸縮機構をもたせることで、万遍なく塗布できるようにした。また、作業者による塗布では、グリス塗布量を安定させることは困難だが、本方式を採用することにより、塗布量を定量化することが可能となり、グリス塗布品質の安定化も実現した。

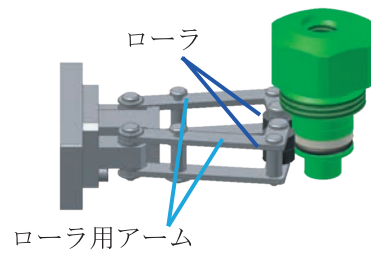


図12 グリス塗布装置概要

### 7.7 設備の省スペース化

7.6項まで解説してきた自動組立技術を盛り込んだ設備の設置スペースは、既存の手作業工程エリアとなる。つまり設備の省スペース化が必須となる。省スペース化のため、以下の方策を実施した。

- ①天吊りタイプ多関節ロボットの採用により、ロボット下方のスペースの有効利用
- ②部品供給に一般的なパーツフィーダを利用するのではなく、切出し装置を自社開発するなど実施しコンパクト化

なお、天吊りタイプのロボットを採用したことにより、設備フレームの剛性不足による組付性能への影響が懸念された（ロボット動作による設置面の変位：メーカ推奨値0.3mm以内）。そこで、フレームの構造解析（図13）を構想段階で実施し、解析結果をもとにフレームサイズや梁構造などを決定した。その結果、設備導入後に剛性不足が起因の組付性能の低下などの不具合を未然防止することができた。

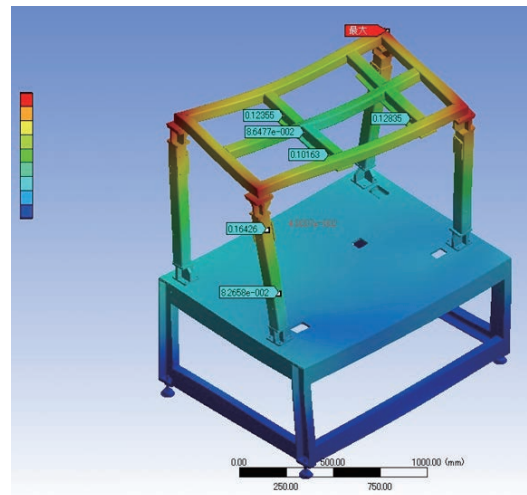


図13 設備フレームの構造解析結果

### 7.8 不良品の流出対策

自動組立技術を取り入れたことによって、組付ミスなどの不良品が後工程に流出するようなことがあってはならない。そこで、下記のような機能を付加し、不良流出防止を図った。

- ①スプリング大・小の組付後有无判定  
課題として、同芯上に組付けられるスプリング

大・小に対する検出，双方のスプリングともに線径が細く，かつバネの位相が毎回ランダムである部品に対する検出があげられる．解決方策として，各スプリングの巻き数の違いに着目し，帯状のレーザセンサを利用して，遮光量の差からスプリング大・小の有無を検出することにした（図14）．レーザセンサは光が直線的に進むため，線径の細かいスプリングを検出することが可能であり，かつそれを帯状にすることで，ランダムな位相であったとしても検出可能となる．

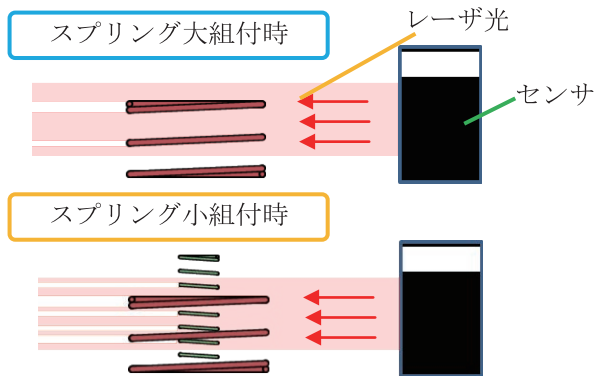
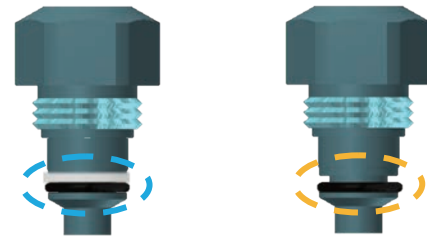


図14 スプリング大・小组付判定センサ

②シール部品組付良否判定とグリス塗布有無判定

OリングとBUリングを重ねて組付する箇所に関しては，組付順序が決まっている．欠品や組付順序間違いの場合，シール性能が本来の機能を損なうため，設備内にて良否判定をする必要がある．これまで，作業員が組付作業と同時に目視にて組付状態を確認していたが，その方法の代替として，設備内に検査用の画像処理機器を設置し，全数検査を行うことで，自動化による品質レベル低下を防止した．

シール部品の検出は，シール部品の外観色を利用し，指定した範囲内にその指定色が占める割合からシール部品の有無と組付良否判定を行う（図15）．また，グリスの塗布有無についても，部品の外周に塗布されたグリスの色を利用することにより，前述した組付状態確認と同じ画像処理機器を利用して全



OK画像 BUリング(白)有 Oリング(黒)有	NG画像 BUリング(白)無 Oリング(黒)有
-------------------------------	-------------------------------

図15 シール部品有無判定

数検査している．

8 活動成果

- ①マシンサイクルタイム：現状同等以下
- ②出来高生産性：現状ライン比23%向上
- ③自動化による部品への傷付き及び組付ミスなし  
出来高生産性については，当初目標に対して未達となった．目標達成に向け，改善活動を継続して実施していく．

9 結言

RV組立作業を自動化する上で必要となる技術を新たに開発し，それら新技術を盛り込んだ設備を導入することにより，生産性向上を図ることができた．

また，これまで取扱いが困難で自動組付のハードルが高いと思われてきたシール部品の自動組付などこれからの自動化システムの基盤となる開発ができた．

今回開発した技術は，これまで難易度が高く，自動化がなかなか進まなかった工程へ応用することが可能であり，競争力の高いライン構築を検討する際に役立てていきたいと考える．

最後になりましたが，今回の開発・導入に至るまでに多大なご支援をいただきました社内関係者各位にこの場をお借りして深く感謝の意を表します．

著者



瀧口 真樹

2008年入社．技術本部生産技術研究所第二研究室．主に自動化技術の研究に従事．