# 協働ロボットと重量補助装置の組合せ技術によるクランク粗材ランダムピッキング設備の開発

# High Risk Work Automation by the Combination Technology of Small Collaborative Robot and Weight Auxiliary Device

石原 聡 *1 Satoshi Ishihara
目崎 陽介 *1 Yosuke Mezaki
渡野 和久 *1 Kazuhisa Watano
中島 敦司 *2 Atsushi Nakajima

*1 エンジン事業部生産技術部　*2 エンジン事業部製造第一部

**要　旨**

東知多工場の主力機種であるGDエンジンの収益向上を図るため、自動化による省人に取り組み労務費を低減させる。取組みの一つにクランク粗材投入作業の自動化があるが、従来手法を用いるとエネルギーの大きな大型産業用ロボットが必要となり、設置スペースが限られる既存ラインへの導入が難しかった。そこで今回はエネルギーの小さな小型協働ロボットと重量補助装置を組み合わせた自動化技術を開発することで設備を小型化し、既設ラインへの号口導入を実現したので報告する。なお、この設備の導入によりGD#2クランク加工ラインにおいて0.3人工の作業工数低減ができ、更に他案件との組合せにより1人工の省人を行うことができた。

キーワード：エンジン、クランクシャフト、ランダムピッキング、協働ロボット、重量補助装置、組合せ技術

**Abstract**

To improve profitability of the GD engine, the main model produced at the Higashi-Chita Plant, efforts have been made to reduce labor costs through automation for a leaner operation. One of the initiatives is automatizing the crude crankshaft material input task. Using conventional methods would have required large industrial robots with substantial energy requirements, making it difficult to introduce into the existing production lines with limited space. Therefore, we have developed new automation technology combining small collaborative robots with assisting weight-supporting devices, enabling us to make the equipment more compact and feasible for introduction into existing lines. I am reporting that with the introduction of this equipment, we have achieved a reduction of 0.3 man-hours in the GD#2 crankshaft machining line, and, when combined with other measures, a reduction of a full man-hour is possible.

Keywords: Engine, Crankshaft, Random Picking, Collaborative Robot, Weight Auxiliary Device, Combination Technology

## 1 はじめに

エンジン事業部自動車用エンジン生産台数の半数をディーゼルエンジンが占めており、GDエンジンは、今後の生産台数の継続、維持が期待される主力機種である。GDエンジンは世界5拠点で生産しているグローバルエンジンであり、東知多703工場を生産拠点としてのモデル工場にしていく。一方で703工場の現状は手作業工程が多く人に依存した工場となっている。このため原価構成では労務費が最も高く、モデル工場にするための取組みの一つとして人に依存した生産からの脱却を目指す。

生技開発Gの使命は高収益な生産ラインを構築する自動化アイテムを開発・導入していくことであり、図1の「自動化ロードマップ」に示すように安価で既存ラインにマッチする自動化技術の手の内化と、横展開を見据えたパッケージ化を目指している。この中で今回は粗材（重量物）移載作業の自動化開発に取り組んだ。

図1 2023年度 生技開発G 自動化ロードマップ
Fig.1 FY2023 Production Engineering Development Group Automation Roadmap

## 2 取組みの背景

重量物移載作業にはクランク粗材ピックやエンジン移載等があるが、バラ積みであるが故に高リスクで不定時が故に製造にとって作業負担が大きい、図2に示すクランク粗材投入作業の自動化に優先して取り組むことにした。

クランク粗材ピックを自動化しようとすると従来の手法では、図3に示す事例のようにエネルギーの大きな高可搬重量の産業ロボットを使用した大型な設備構成になるため、設置スペースが限





られる既存ラインへの導入が難しい。既存ラインに収まるコンパクトな設備にするため、展示会で紹介されていた図4に示す新しい手法の採用を検討した。これは協働ロボットを重量補助装置で補助しておりロボットの可搬能力を超えるワークを搬送することができる手法である。この手法はこれまで当社のエンジン事業部や他事業部、また同業他社で取組み事例があるが、調整が難しく号口化に到達した事例が無いことが分かった。そこで今回はこの手法を手の内化しクランク粗材搬送に適用することにより既設ラインへ導入できる「小型協働ロボットと重量補助装置を組み合わせた自動化技術」（以下、今回手法）を開発することにした。

図2 クランクシャフト粗材投入作業
Fig.2 Crankshaft blank loading operation

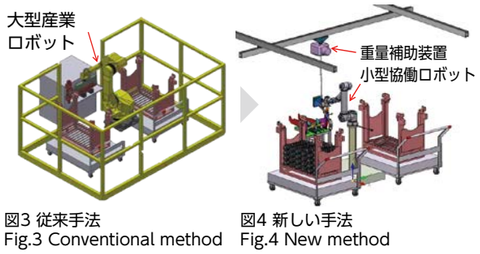


図3 従来手法
Fig.3 Conventional method




図4 新しい手法
Fig.4 New method

## 3 安全確保の取組み

クランク粗材搬送を自動化するにあたり構想段階でリスクアセスメントを行い、機械的エネルギーを小さくする、無くすという本質安全にこだわって機械的危険源を低減する取組みを行った。

### 1）ロボット選定

今回手法の設備構成においては重量補助装置がワークや治具に掛かる重力を全て受け持ち、ロボットはそれらを移動させるための推力発生のみを受け持つ。このためロボットには10kg可搬の小型協働ロボットを採用した。

### 2）ハンド選定

ロボットのエンドエフェクタとなるハンドについて、当初は図5に示すようにエアシリンダによりクランク粗材を挟み込む動力式のハンド機構を検討していたが、今回は協働ロボットと組み合わせて使用するため、クランプ時の挟まれ、残圧抜けによる粗材落下に対するリスク回避を確実に行う必要があった。そこで作業者がホイストに取り付けて使用する手作業用吊具をロボットに取り付け、図6のような非動力式のハンドとすることで挟まれ個所を無くした。また吊り上げ時は粗材が吊具へ食い込むことで落下防止として機能する。

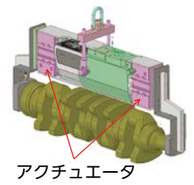


図5 動力式ハンド
Fig.5 Powered hand

図6 非動力式ハンド
Fig.6 Non-powered hand

## 4 完成度向上の取組み

今回手法で直面した問題に協働ロボットの保護停止がある。これは協働作業中に人との接触を検知することで人との安全、協働を確保するための停止であるが、協働ロボットに重量補助装置を接続して動作させると人と接触していなくても保護停止が発生するため、これを「うそつき保護停止」と呼び調査、対策を行った。

### 1）うそつき保護停止の発生状況

うそつき保護停止発生状況をクランク粗材ピック1サイクル動作のプロセスで確認すると図7に示すようにうそつき保護停止は、ワークが無く、加速度が高い状態で発生することが分かり、これを問題点とした。

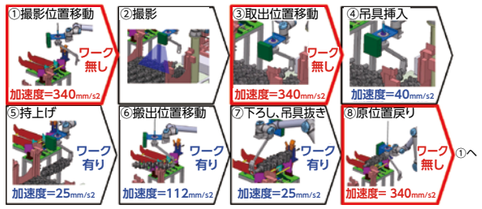


図7 うそつき保護停止 発生個所
Fig.7 Erroneously triggered protective stop occurrence location

### 2）要因解析

問題点に対し、ロボットアームに作用する物理現象に思いを巡らせながら図8に示す通りなぜなぜを繰り返すことで2つの真因にたどり着いた。

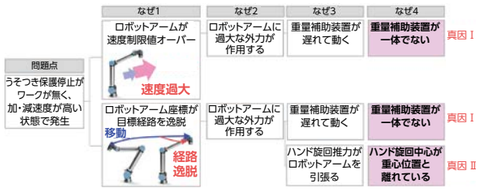


図8 なぜなぜによる真因解析
Fig.8 Root cause analysis through Whys

### 3）ロボットアーム加減速時に作用する外力

停止状態での設備構成を図9に示す。レール・バランサから成る重量補助装置とハンドがチェーンで接続されている。ロボットアームが加速する際は図10のようにこれらが一体ではなく連動しないため、質量の大きい重量補助装置が遅れて動き始めることでロボットアームへ上向きの外力が発生する。またロボットアームが減速する際も同様に、重量補助装置が遅れて動き続けるため、図11に示すようにロボットアームへ上向きの外力が発生する。このように、重量補助装置とロボットアームが一体でないため、外力が発生し保護停止することが分かった。

図9 停止状態
Fig.9 Stopped condition




図10 加速時
Fig.10 During acceleration




図11 減速時
Fig.11 During deceleration

この現象は図12に示すように重量補助装置とロボットとがチェーンで接続される別体構造であることに起因するため、対策として図13に示すようにに剛体アーム型の重量補助装置[1]を採用し、剛体化したアームとロボットを一体化することで外力を最小化した。

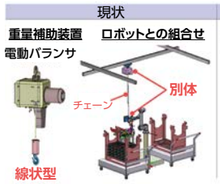


図12 別体構造
Fig.12 Separate structure

図13 一体化
Fig.13 Integration

### 4）ハンド旋回時に作用する外力

図14に示すようにバラ積みされた粗材の角度に合わせてハンドは傾斜させる必要があるが、図15のようにハンドの重心と旋回中心が不一致だと、図16のように旋回時にはロボットアームには重心を持ち上げる推力が発生する。つまり、ハンドの旋回中心と重心位置が離れているため、外力が発生し保護停止することが分かった。

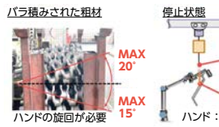


図14 バラ積み粗材
Fig.14 Loose bulk raw material

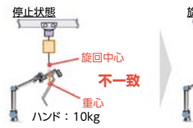


図15 停止状態
Fig.15 Stopped condition

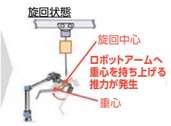


図16 旋回時
Fig.16 During rotation

今回採用した重量補助装置はロードセル内蔵のワーク重量測定部を有しており、ロボットと重量補助装置間で信号授受することなくロボット動作のみで粗材の地切り、荷下ろしができるメリットがある反面、この重量測定部の質量は8kgと大きく、図17のように旋回中心と重心位置が大きく離れるデメリットが生じた。そこで今回は図18に示す「重心中心揺動機構」を新たに開発した。この機構により旋回中心と重心の距離を可能な限り接近させ外力を最小化することで小型協働ロボットの推力によるハンド旋回を可能にした。

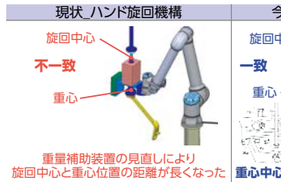


図17 対策前のハンド旋回機構
Fig.17 Hand rotation mechanism before countermeasures

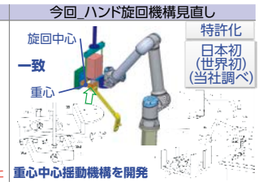


図18 対策後のハンド旋回機構
Fig.18 Hand rotation mechanism after countermeasures

## 5 号口運用の取組み

前述の対策により試験環境ではうそつき保護停止を無くすことができたので号口ラインでの流動評価に移行した。

### 1）設備搬入出の容易化

図19に示すようにまずは昼勤のみ評価を行い夜勤は手作業に戻す運営を行うため、図20のようにバランサ、ロボット、制御盤を一体化させハンドリフトで設備の搬入出ができるようにした。更に粗材ピッキング用のヴィジョンカメラで出口コンベア位置、粗材バケット位置を撮影し位置補正することで、設備搬入後はティーチングレスとした。これにより約15分で自動と手動の切替えを可能とし、高負荷ラインで流動評価を実現させた。

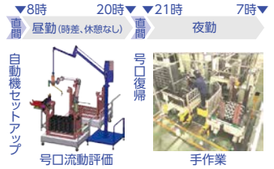


図19 昼勤のみ流動評価
Fig.19 Day shift only flow evaluation

図20 設備の搬入出容易化
Fig.20 Facilitate the moving in and out of equipment

### 2）操作性の向上

異常処置でロボットを操作する際、従来はロボット操作盤での操作が必要、また位置制御操作では粗材同士の干渉等でロボットアームに外力が働くと保護停止していた。今回は外力が働いても保護停止しづらい推力制御操作や常に吊具の穴方向に操作ができる機能など、ロボット操作盤では実現できない操作を設備操作盤に作りこんだ。また自動原点復帰や途中再起動を可能にし、作業者の使い勝手向上、保全時間の短縮に徹底的にこだわった。

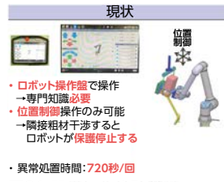


図21 設備操作性改善前
Fig.21 Before equipment operability improvement

図22 設備操作性改善後
Fig.22 After equipment operability improvement

### 3）徹底的な対策

号口ラインでの流動評価では代表的なものではハンド挿入異常、粗材2個吊り異常が発生したため対策を行った。

ハンド挿入異常はある特定位置のクランクに吊具が挿入できず発生する。多関節ロボットは複雑な動作をするため図23のようにモーションキャプチャを用いてロボット軌跡を確認した。その結果、特定位置でロボット位置ズレが生じておりその位置でヴィジョンが粗材を撮影すると位置決め誤差が拡大することが分かった。応急処置としては位置ズレの無い位置での撮影、恒久対策としてはロボットをオーバーホールすることで対策した。

粗材2個吊り異常は最上段の粗材を選べなかったことで発生する。クランク粗材は大型ワークのため全体はヴィジョンの視野に収まらず、視野外にて干渉粗材の見落としが発生していた。これに対し、図24のように粗材先端だけでなく粗材全域で上下判断する、カメラ視野内の情報に加え、必要に応じて追加撮影し俯瞰して上下判断する、等の対策を織り込んだ。

これらの対策を徹底的に行い、昼夜稼働による可動率評価を実施した結果、目標を達成し初期管理解除を合意することができた。

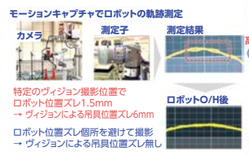


図23 モーションキャプチャによるロボット軌跡確認
Fig.23 Confirmation of robot trajectory using motion capture

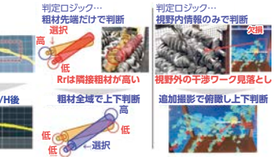


図24 大型ワークに対するランダムピッキングロジック開発
Fig.24 Development of random picking logic for large workpieces

## 6 まとめ

協働ロボットうそつき保護停止に対し原理原則で考え抜き、最適な重量補助装置の選定、重心中心揺動機構の新規開発により、小型協働ロボットと重量補助装置を組み合わせた自動化技術を手の内化し、既設ラインに投入できる小型で本質安全にこだわったクランク粗材搬送設備を作り上げることができた。また重心中心揺動機構は特許化を成し遂げることができた。今回開発した設備は商品化を目指し生技開発センターと協業で実用展開を進めていく予定である。

■参考文献

[1] (株) トーヨーコーケン ウルトラバラマン 製品カタログ

■著者紹介■

石原 聡

目崎 陽介

渡野 和久

中島 敦司

### 開発の経緯と開発者の思い

クランク粗材の自動投入は他社でも取り組まれているが、質量の大きなクランク粗材の搬送にはいずれも大型の産業ロボットが使用されていた。大型の産業ロボットは全ての方向に大きな推力を発揮する能力を秘めており取扱いを誤ると重大災害を引き起こすリスクを有する。今回は粗材へ掛かる重力を補助することで、ロボットには粗材を移動させる能力のみを持たせることにこだわった。本質的に安全とされる小型協働ロボットだが外力で停止しやすく動作成立にはかなりの苦労があったものの、ロボットメーカのアドバイスを得ながら内製で粘り強くやり抜くことができた。今後はこの技術を横展し工場の風景を変えていきたい。