

# コーティングチェーン NEP 仕様ネプチューン<sup>®</sup>

NEP series surface-treated chain Neptune<sup>®</sup>

萱原 千景<sup>\*1</sup>

Chihiro KAYAHARA

雨や海水のかかる環境において高耐食で、かつアルカリ性薬品に対する耐薬品性に優れたコーティングチェーンとして、コーティングチェーン NEP 仕様ネプチューンがある。従来仕様の発売当時は、競合他社製耐食表面処理チェーンと比べて性能面で優位性を有していた。しかし、近年競合他社が性能を向上させ、耐食性を上回ってきた。そこで、業界 No.1 の耐食性を有する新たな表面処理を独自に開発し、コーティングチェーン NEP 仕様ネプチューンをリニューアルした。

The NEP series Neptune chains are coated chains that provide excellent corrosion resistance for environments where there is exposure to rain or sea water and also excellent chemical resistance against alkaline chemicals. When the previous version was launched, the chains had a performance advantage over the corrosion-resistant surface-treated chains from competitor companies. However, performance improvements by those competitors in recent years meant that they surpassed the corrosion resistance of the NEP series. In response, we independently developed a new surface treatment that has the highest corrosion resistance in the industry and have upgraded the surface-treated NEP series Neptune chains.

## エコロジー訴求点と 顧客メリット

①高耐食性 ②高耐薬品性 ③ RoHS 指令対応商品

## 1. はじめに

腐食の恐れがある様々な環境で使用できる耐環境シリーズチェーンには、ステンレス鋼部品を用いたステンレスチェーンと耐食表面処理を施した部品を用いたコーティングチェーンがある。当社では、汎用スチールチェーンからの強度低下がなく、高い耐食性（耐塩水）を有したコーティングチェーンとして、2007年にコーティングチェーン NEP 仕様ネプチューン（以下、NEP 仕様とする）を発売開始した<sup>1)</sup>。NEP 仕様は、食品業界をはじめとした洗浄を伴う装置などへ多く採用されてきた。

その後、NEP 仕様は2015年に一度リニューアルしている<sup>2)</sup>。洗浄工程ではチェーンが薬品にさらされることも多く、薬品による腐食が問題となったため、耐食性だけでなく耐薬品性も有した表面処理を開発し、一度目のリニューアルに至った。2015年当初、NEP 仕様には競合他社製耐食表面処理チェーンと比べて、耐食性および耐薬品性において性能優位性があった。しかし、近年競

合他社も耐食表面処理チェーンの性能向上に注力してきたとみられ、NEP 仕様を上回る耐食性を有する製品を市場投入してきた。競合他社製耐食表面処理チェーンの性能向上を受けて、2015年リニューアル品と同等の耐薬品性を維持しつつも、耐食性を向上させた新たな表面処理を独自に開発し、今回2度目のリニューアルを実施することとなった。

## 2. 当社の耐環境シリーズチェーン

当社では耐環境シリーズとして、ステンレスチェーンとコーティングチェーンをラインアップしている。ステンレスチェーンはコーティングチェーンと比べて耐食性に優れるが、価格が高くなる。また、材質の特性上、ステンレスチェーンの強度は汎用スチールチェーンの強度と比べて大幅に低下する。一方で、スチールチェーンをベースとするコーティングチェーンは、比較的安価になる。また、NEP 仕様は部品硬さに影響を与えない表面処理を採用しているため、強度は汎用スチールチェーンと同一である。

\*1 チェーン事業部 製品技術部

### 3. 耐食・耐薬品性比較調査

#### 3.1 現状把握

国内外の耐食表面処理チェーン市場における NEP 仕様の性能優位性を確認するため、社内で性能比較試験を実施した。

##### 3.1.1 耐食性

NEP 仕様と競合他社製耐食表面処理チェーンの耐食性を比較するため、JIS-Z-2371に準じた塩水噴霧試験を実施した。同じ試験時間後のチェーンの赤錆発生状態を図1に示す。NEP 仕様には赤錆が発生し、さらに錆が広がっている。一方で、競合他社製耐食表面処理チェーンの中には、NEP 仕様より赤錆が発生しなかったチェーンや、錆の広がりが NEP 仕様より小さいチェーンがあった。

赤錆の発生時間および赤錆発生後の錆の広がり状態より、NEP 仕様の耐食性は一部の競合他社製耐食表面処理チェーンより劣っていることが判明した。

##### 3.1.2 耐薬品性（次亜塩素酸ナトリウム水溶液）

次亜塩素酸ナトリウム水溶液は食品業界で洗浄殺菌剤

として使用されることの多いアルカリ性水溶液である。

NEP 仕様と競合他社製耐食表面処理チェーンの次亜塩素酸ナトリウム水溶液に対する耐薬品性を比較するため、水溶液浸漬試験を実施した。同じ試験時間後のチェーンの赤錆発生状態を図2に示す。NEP 仕様の錆の広がり状態は競合他社製耐食表面処理チェーンと同程度であり、NEP 仕様の次亜塩素酸ナトリウム水溶液に対する耐薬品性は競合他社製耐食表面処理チェーンと大差なかった。

##### 3.1.3 耐薬品性（水酸化ナトリウム水溶液）

水酸化ナトリウム水溶液も次亜塩素酸ナトリウム水溶液と同様、食品業界で洗浄殺菌剤として使用されることの多いアルカリ性水溶液である。NEP 仕様と競合他社製耐食表面処理チェーンの水酸化ナトリウム水溶液に対する耐薬品性を比較するため、水溶液浸漬試験を実施した。試験開始前および、同じ試験時間後のチェーンの状態を図3に示す。一部の競合他社製耐食表面処理チェーンにおいては、表面処理層の剥離が確認された。一方で、NEP 仕様は表面処理層の剥離は確認されなかった。NEP 仕様は耐食表面処理チェーン市場の中でも上位の水酸化ナトリウム水溶液に対する耐薬品性を有していた。

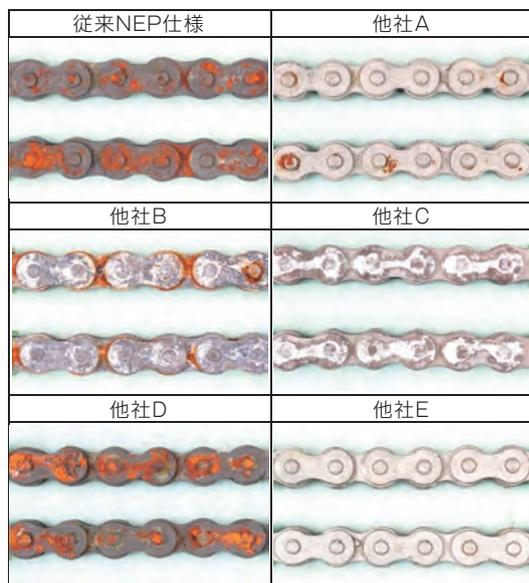


図1. 塩水噴霧試験結果（他社製品との比較）

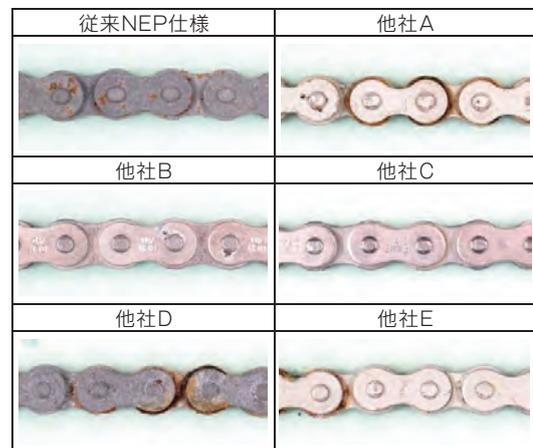


図2. 次亜塩素酸ナトリウム水溶液浸漬試験結果（他社製品との比較）

	従来NEP仕様	他社A	他社B	他社C	他社D	他社E
開始前						
浸漬後	 塗膜剥離なし	 塗膜剥離あり	 塗膜剥離あり	 塗膜剥離あり	 塗膜剥離なし	 塗膜剥離あり

図3. 水酸化ナトリウム水溶液浸漬試験結果（他社製品との比較）

## 4. 開発目標

### 4.1 製品コンセプト

競合他社製耐食表面処理チェーンとの性能比較試験結果より、NEP仕様リニューアル品の製品コンセプトは「従来品と同等の耐薬品性を維持しつつ、競合他社製耐食表面処理チェーンを上回る耐食性を有するNEP仕様」とした。

### 4.2 開発目標

製品コンセプトより、開発目標は下記3項目を満足することとした。

- 1) プレ給油状態で、塩水噴霧試験1000時間赤錆発生無し
- 2) 耐薬品性は、従来品性能と同等以上である
- 3) 2列チェーンも1列チェーンと同等の耐食性とする

### 4.3 開発目標達成のための方策

NEP仕様の表面処理構造は2層構造であり(図4参照)、従来トップコートには有機系特殊樹脂コートを使用してきた。チェーン使用時には、摩耗伸び抑制のため、チェーンへの給油を推奨している。しかし、従来使用してきた有機系特殊樹脂コートでは、塗膜中へ油が侵入する。そのため、耐食性を向上させることが難しく、開発目標達成の見込みがなかった。塗膜中への油の侵入を防ぐため、有機系特殊樹脂コートから無機系特殊樹脂コートに変更し、耐食性の向上を図った。

なお、表面処理には防錆表面処理に用いられる六価クロムをはじめ、その他有害物質を一切使用しておらず、

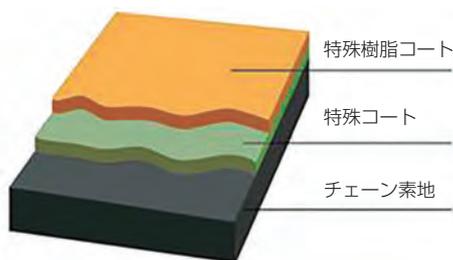


図4. 表面処理の構造

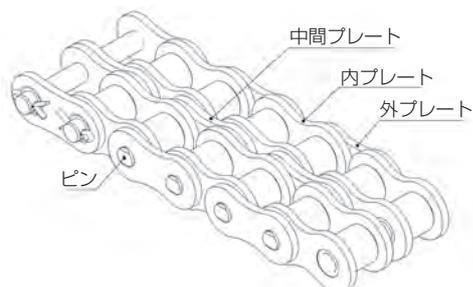


図5. 2列チェーンの構造

RoHS指令にも対応している。

また、開発目標の3)について、従来品の2列チェーンは中間プレート(図5参照)とピンの挿抜性を確保するために、中間プレートの表面処理膜厚を薄くしていた。よって、2列チェーンは1列チェーンに対して耐食性が低下していた。リニューアル品は外、内プレートと同じ表面処理膜厚の中間プレートでも組立できるようにすることとした。

## 5. 開発結果

### 5.1 耐食性

開発目標の1)を満足することを確認するために、プレ給油を施したりニューアル品に対してJIS-Z-2371に準じた塩水噴霧試験を実施した。塩水噴霧試験1000時間後のチェーンの赤錆発生状態を図6に示す。リニューアル品は塩水噴霧試験1000時間経過後に赤錆発生がみられず、開発目標の1)を満足した。

### 5.2 耐薬品性

開発目標の2)を満足することを確認するために、次亜塩素酸ナトリウム水溶液と水酸化ナトリウム水溶液に対する耐薬品性を確認した。

#### 5.2.1 次亜塩素酸ナトリウム水溶液

従来品とリニューアル品を同じ時間次亜塩素酸ナトリウム水溶液に浸漬した後のチェーンの赤錆発生状態を図7に示す。従来品に赤錆が発生した時間でも、リニューアル品には赤錆が発生しなかった。

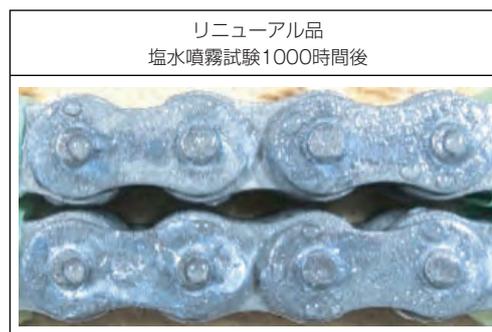


図6. 塩水噴霧試験結果(リニューアル品)

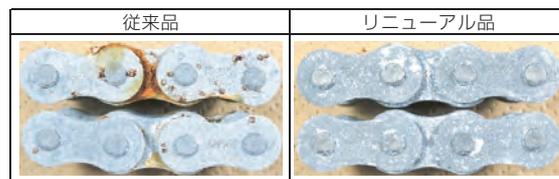


図7. 次亜塩素酸ナトリウム水溶液浸漬試験結果(従来品との比較)

## 5.2.2 水酸化ナトリウム水溶液

3.1.3項で実施した水酸化ナトリウム水溶液浸漬試験では、浸漬後の表面処理層の状態に優劣をつけることができなかった。そこで、水酸化ナトリウム水溶液に一定時間浸漬後の表面処理層溶解状況の比較として、水溶液浸漬後チェーンに対して塩水噴霧試験を実施した。従来品とリニューアル品の水溶液浸漬・塩水噴霧試験実施後の状態を図8に示す。従来品に赤錆が発生した時間でも、リニューアル品には赤錆が発生しなかった。

2種の耐薬品性確認試験結果より、開発目標の2)の達成を確認した。

## 5.3 2列チェーンの耐食性

リニューアル品は中間プレートの表面処理膜厚が外、内プレートと同一でも、中間プレートとピンの挿抜性が確保でき、2列チェーンが組立可能であった。よって、中間プレート含めすべて同じ表面処理膜厚のため、開発目標の3)を満足した。

## 5.4 その他確認事項

表面処理の変更により、チェーンの摩耗性能に差が生じないことを確認するために、摩耗試験により従来品とリニューアル品の摩耗性能を比較した。リニューアル品は従来品と同等の摩耗性能を有していることを確認できた(図9参照)。

また、リニューアル品の各種チェーン完成品仕様が当社規格を満足することを確認した。

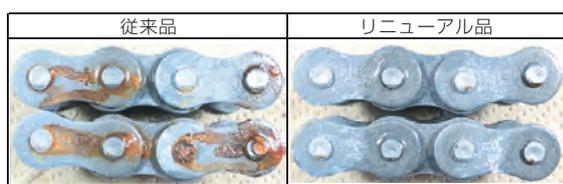


図8. 水酸化ナトリウム水溶液浸漬・塩水噴霧試験結果

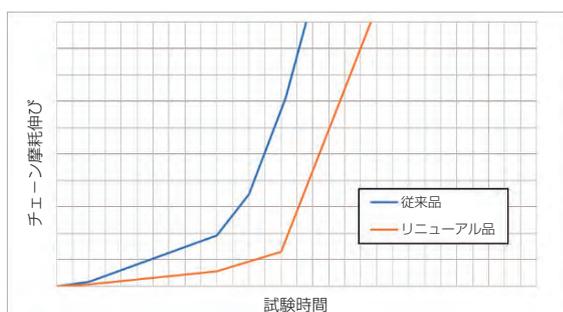


図9. 摩耗試験結果

## 5.5 まとめ

リニューアル品は耐食性、耐薬品性の開発目標を満足し、かつ当社の各種規格を満足した。以上をもって、NEP仕様リニューアル品の開発を完了し、新商品として市場投入するに至った。

## 6. おわりに

耐食表面処理チェーン市場では、競合他社も表面処理を独自開発し、日々性能向上に向けた進化が続いている。今回、当社ではチェーン給油後に塗膜中へ油が侵入することを防ぐ無機系特殊樹脂コートを開発した。無機系特殊樹脂コートの採用によって、チェーン給油後の耐食性を大幅に向上させ、国内外の競合他社製耐食表面処理チェーンと比べて、再び性能面で優位に立つことができた。今後も耐食表面処理チェーンのさらなる性能向上を目指していく。

【特許登録】

## 参考文献

- 1) 福池裕二、コーティングチェーン NEP 仕様の開発、TSUBAKI TECHNICAL REVIEW, Vol.17, No.1, 2007, P1-6
- 2) 有馬愛子、つばきコーティングチェーン「ネプチェーン®」の開発、TSUBAKI TECHNICAL REVIEW, Vol.25, No.1, 2015, P1-6

# 推力センサ内蔵電動シリンダ

Electric cylinder with built-in thrust sensor

矢野 慧<sup>※1</sup>

Kei YANO

従来、大まかな推力検知もしくはストロークにて動作制御していた電動シリンダに、今回新たに「推力センサ」を内蔵した。このセンサ信号を「専用基板」にて押し引き荷重に変換し、シリンダにかかる荷重値として出力することで、ユーザーによるシリンダの能動的な操作が可能となる。この新製品にて、これまで油圧シリンダやサーボ付電動シリンダなどを使用し、見なしの荷重で動作制御していたユーザーに対して適切な荷重制御、装置の保護などの付加価値を提供する。

The motion of electric cylinders has conventionally been controlled using rough thrust detection or the stroke, but these cylinders have a new built-in “thrust sensor.” A “dedicated board” is used to convert the signal from this sensor into the push-pull load and to output it as the load value applied to the cylinder, thereby enabling the user to perform the active operation of the cylinder. This new product provides the added value of appropriate load control and equipment protection for users who have previously performed operation control using the assumed load on hydraulic cylinders and electric cylinders with servos.

## エコロジー訴求点と 顧客メリット

- ①お客様装置での部品点数の削減
- ②稼働装置の付加価値向上
- ③不要な稼働、動作の低減による電気使用量の削減

## 1. はじめに

### 1.1 概要

電動シリンダにおける動作の制御方法としては、ストローク検知、モータ電流値検知、もしくはバネなどを利用した機械的な推力検知が一般的である。この場合速度・位置制御は電動シリンダの得意とするところであるが、確実な荷重値を得る手段に限られるため、押し引きする条件に対して厳密な力制御をしたい場合は工夫を要する。

また、油圧シリンダと比較するとき、油圧シリンダはバルブの開度により任意の推力を“出す”という動作が可能であるのに対して、電動シリンダはモータに停止の指示をするまで動作することから、相互に使用感が異なる。そのため、油圧シリンダから電動シリンダに置き換えて油圧シリンダと同様な力制御をしたい場合は、使用方法の変更が必要となる。

これらに対して、電動シリンダ制御のさらなる強化と用途の拡大のため、実負荷を可視化し、その実負荷をもって制御できる機能を付加した製品を開発した。

### 1.2 市場ニーズ

推力計測の手段は一般的に複数あり、それらの比較は図1の通りである。推力センサ内蔵方式は他方式と比較して、煩わしい設置・調整無しに実負荷を検出でき、センサ部を保護しやすいことから耐環境性にも優れる。つばきパワーシリンダは一般産業用の電動シリンダであるため、様々な用途に対応できる推力センサ内蔵方式にて開発を進めることとした。

しかしセンサ内蔵仕様は世間的にも実用例が少なく、上記のように想定されるメリットが、電動シリンダにおいて付加価値とできるかは不明であったため、開発と並行して市場調査を行った。調査ではwebアンケート他、直接打合せや展示会への出展も合わせて実施し調査した。

展示会では、内蔵でのオールインワン構造に対して80%以上の方から価値のあるものとの評価をいただいた。また必要な機能を絞り込むため、アンケートなどで150社以上の回答をいただき、使ってみたい機能としてモニタリング(43%)、実負荷検出(36%)、過負荷回避(19%)と、こちらも評価をいただいている。

※1 モーションコントロール事業部 技術統括 直線作動技術部

## 2. 製品特徴

### 2.1 仕様

市場調査の結果からも、煩雑な機能は希望されていないため、よりシンプルに使える仕様としている。既存の置き換えも考慮して、パワーシリンダ® Tシリーズをベースとし、ストローク、定格推力、速度などは標準仕様から変更せず、各オプション（一部除く）にも対応可能とする。仕様一覧は表1参照。駆動は汎用モータを標準としつつも、出力の精度は定格推力の±10%を仕様とする。その他、基板仕様詳細は表2参照。マイコンと推力センサは、定格推力の200%まで出力が可能な設計としており、引付荷重200%を4mA、押付荷重200%を20mAとするアナログ出力（図2）、およびRS485通信（表3）による出力を行う。ユーザー側ではこのいずれか、もしくは両方の出力を使用

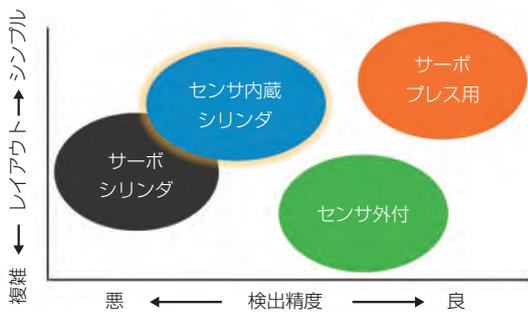


図1. 製品のポジショニング

表1. 基本仕様

	1ton 枠	2ton 枠	4ton 枠
定格推力 (kN)	9.8	19.6	39.2
速度 (mm/s 60Hz時)	15~120	15~90	11~72
ストローク (mm)	200~1000	200~1200	200~1500
検出精度	定格推力の±10%		
環境	-15~40°C、一般屋外型		

表2. 基板仕様

項目	仕様	
電源	DC24V ±10%	
アナログ出力	DC4~20mA (最大負荷抵抗 250 Ω) (-200~200%)	
通信	形態	EIA RS485 準拠
	方式	半二重
	プロトコル	Modbus-RTU 準拠
使用環境	使用場所	屋内
	周囲温度	-15~40°C
	周囲湿度	45~85% RH (但し、結露の無きこと)
	標高	1000m 以下
	雰囲気	腐食性ガス、塵埃、水滴の無きこと
	振動	4.9m/s <sup>2</sup> (0.5G) 以下

し、例えばお客様の適正な荷重を狙ってワークを把持させるような、電動シリンダの能動的な荷重制御が可能となる。

### 2.2 構造

本製品の外観を図3に示す。外形形状は、推力センサを設置しているブラケット部がパワーシリンダTシリーズより80mm 前後伸長するが、トラニオン穴からロッド先端までの寸法は従来品と同一としている。ブラケット周辺部品は、推力センサを内蔵するための専用設計となっており、これら部品が推力センサ精度と耐久性を確保するために必要となっている。推力センサ自体もまた本品に合わせた専用設計となっている。

また、パワーシリンダTシリーズでは湿式スリップクラッチタイプ（型番：TB）と推力検知（型番：TC）タイプの2種があるが、今回推力センサを内蔵するのは後者のみとなる。これは汎用モータへの指令で動作制御した際、前者の場合ブレーキの遅れからシリンダの停止が遅れ、過負荷となる可能性が高くなるため適さないと判断したためである。

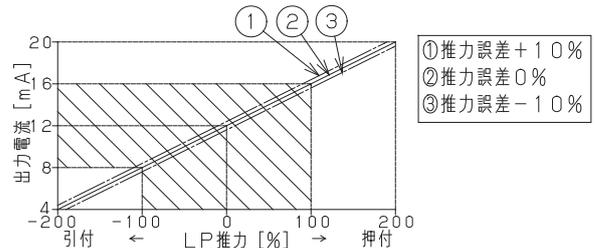


図2. アナログ出力特性

表3. RS485通信仕様

プロトコル	Modbus-RTU
伝送路接続	RS485
通信速度	9600bps
スタートビット長	1bit
データビット長	8bit
ストップビット長	1bit
パリティビット	EVEN
エンディアン	LSB
スレーブアドレス	1-16(0x01-0x10)

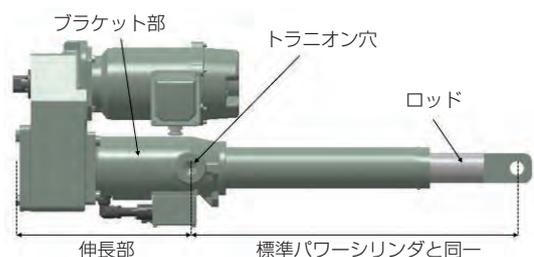


図3. シリンダ外観

### 3. 開発時の課題と解決策

#### 3.1 精度

本製品のポジショニングは図1のように想定しているため、荷重検出精度においてサーボ仕様を上回る必要がある。これについては、実際にサーボ仕様の電動シリンダを製作し、サーボ仕様でのトルクからの推力計算との比較を実施した。この際、試験は製品の個体差を無くすため、推力センサ内蔵シリンダの駆動部をサーボ仕様で改造した1台で行った。ロッド先端に設置したリファレンスセンサに対して、推力センサとサーボトルクでそれぞれ荷重値を比較する。結果は図4のようにリファレンスセンサに対して推力センサはほぼ一定の出力を示すが、サーボトルクからの推力換算値<sup>\*1</sup>は最も大きいところで定格推力に対して約30%外れ、さらにモータ回転速度によっても約10%の差が生じている。これらの点から、定格推力に対して出力精度±10%以下であれば図1のポジショニングは十分満足することができる。

#### 3.2 推力センサ内蔵化

シリンダは約10~40kNの力を受けつつ引張圧縮両方の負荷を検出する必要がある。この時、両振りロードセルを使用して、引張時に誤操作などで異常な負荷がかかりセンサ部が機械的に破断した場合、ワークの落下など危険を伴う。本製品では、有事の安全性を確保するためシリンダの押付引付とも、センサ部には圧縮荷重しかかからないデザインにこだわり、センサ部の破損による危険を排除している。

しかしそのトレードオフとして、ロッドにかかる力を直接センサに負荷できず、構造体の極微小な変形などから機械的なロスが発生するため、検出精度が外付け時に対して劣ってしまう。内蔵化開発の初期でもやはり、単に推力センサを入れただけでは±10%の精度も到底未達となっていた。これに対して、センサ形状とそれを受けるブラケット寸法公差を調整し、いくつかの要素試験と実機検証を経て最適な組み合わせを決定、加えてボールねじから推力センサまでの力のフローを整流化する部品の導入により、この問題をクリアしている。

#### 3.3 耐久性

本製品は内蔵のデザインのため、外乱や悪環境に強い一方、センサのみ交換や校正する作業が困難である。これに対しては分解・校正せずとも、シリンダ寿命まで推力センサが破損せず出力が変化しないことを確認した。確認試験は下記2つを行った。

①シリンダに繰り返し衝撃負荷（定格荷重範囲内で当て止め）をかける試験

②定格負荷をかけた状態で走行させる耐久試験

①の試験では各枠番のシリンダにて推力センサの出力を使用して停止制御を行い、剛体壁にシリンダロッドを当て止めた。各枠番とも5万往復程度までは初期のなじみによる変動があるが、シリンダの当て止め許容回数である30万回までで初期値から10%以上の変動はない(図5：凡例の数字はシリンダ枠番を示す)。

②の試験ではLPT4000を使用して単純に4 ton分の重錘を上下させる試験を行っている。なお後退時が錘の引き上げとなる。結果、図6のように初期値から終了までほぼ変動がなく、最終的に $L_{10}^{*2}$ の2.7倍の距離まで走行してシリンダが動作不能になるまで一定の値を出力し続けられている。また、この試験は1年以上の時間を通して走行し続けており、室内ではあるが季節による外気温の変動も含んだ結果である。

#### 3.4 専用基板

基板(図7)の主な役割は、センサのアンプ機能と検出値の出力である。図8のような構成とした場合、センサにはベアリングの予圧がかかるため、それをキャンセルする機能が必要となる。シリンダ構造と推力センサの配置から、2つのセンサの値を使用した独自の計算式を用いて、基板上で演算することにより、この予圧をソフト上でキャンセルし、シリンダの推力値として出力している。

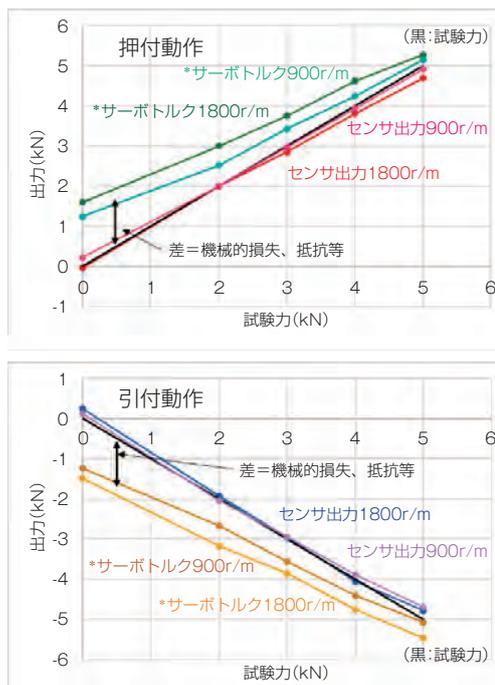


図4. サーボトルクと内蔵センサ出力の比較

この専用基板も、市場調査で評価頂いたようにシリンダ本体にオールインワンとできるよう、サイズや構成はシリンダの端子箱サイズに合わせて製作して推力センサとともに内蔵した。この場合、シリンダ上に搭載することになるためにモータの影響を受けやすい。これに対してはノイズに対する試験と耐環境試験を実施している。

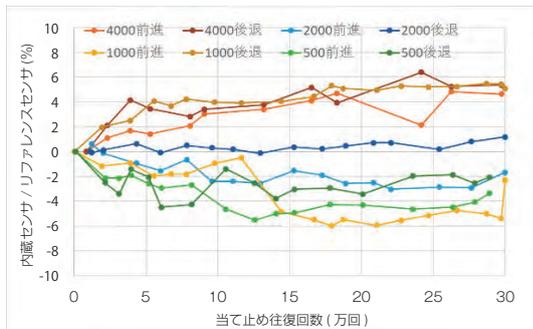


図5. 繰り返し負荷時のセンサ出力の変動

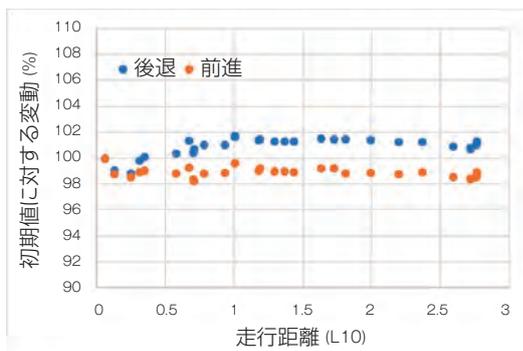


図6. 走行耐久試験



図7. 専用基板と収納部イメージ

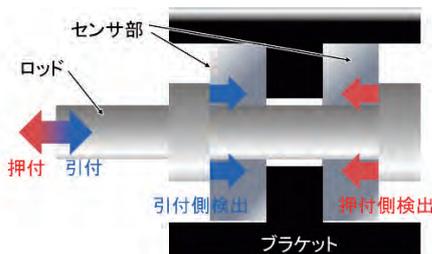


図8. センサ部への負荷イメージ

ノイズ試験ではRS485通信を使用し、制御モータに100mのシールド付きケーブルを巻き付けて50回の通信を行った。結果通信失敗することは一度もなく、良好な結果が得られている。なおアナログ出力はその特性上、外部からのノイズ影響を比較的受けやすいため、制御モータを使用する場合や、至近にノイズ源のある環境では、RS485通信を用いて検出する方法を推奨する。

また基板自体もシリンダの使用環境を被るため、シリンダの許容振動値と使用温度範囲において動作することを確認している。

## 4. まとめ

本製品は試売期間を経て本格的な発売を計画している。基本性能は上記の通り確認しているため、今後は試売中に販売したユーザーの意見をフィードバックした機能の追加や、必要に応じて追加の確認試験などを行い、さらに市場実態に合った製品に改良してお客様製品の価値向上に寄与できるものとしていたい。

また、本誌では記載しきれない製品動作の様子や使用イメージは動画にて作成している。図9のQRコード\*3から参照願いたい (約2分)。



図9. 製品紹介動画コード

### 用語解説

#### \*1 推力換算値

モータトルクから推力への換算ではボールねじとギヤの効率を加味し、シールなどの無負荷損失は加味していない。

#### \*2 $L_{10}$

基本定格寿命を表す。基本定格寿命とは通常使用条件において、信頼度が90%のときの定格寿命である。

\*3 QRコードは株式会社デンソーウェーブの登録商標です。

【特許登録】

# 保管機能付きピッキング装置「T-AstroX<sup>®</sup>」の開発

Development of “T-AstroX<sup>®</sup>” picking equipment with a storage function

伊達 洋貴<sup>\*1</sup>

Hiroki DATE

町田 敏宏<sup>\*2</sup>

Toshihiro MACHIDA

岡本 幸寛<sup>\*3</sup>

Yukihiro OKAMOTO

大西 淳之<sup>\*4</sup>

Atsushi ONISHI

濱田 洋昭<sup>\*1</sup>

Hiroaki HAMADA

新型コロナウイルス感染症拡大により、インターネットを通じて商品を購入する機会が増えた一方、その注文を受ける物流センターでは深刻な人手不足と物量の増加により、省人化・自動化に対するニーズは益々大きくなっている。そのようなEコマース（以下、EC）物流現場のニーズに答えるべく空間の有効利用が可能な保管棚と自走台車を組み合わせたピッキングシステム「T-AstroX」を開発した。

While the spread of COVID-19 infections increased the opportunities for customers to purchase goods via the Internet, the increased volume of goods to be handled and the serious labor shortages at the logistics centers receiving those orders is creating an ever-increasing need for labor-saving and automation. The T-AstroX picking system was developed in order to respond to such needs at e-commerce (hereinafter, EC) distribution sites and combines self-propelled carts with a storage shelf that enables the effective use of space.

## エコロジー訴求点と 顧客メリット

①省人化 ②作業者の負担軽減 ③省スペース ④拡張容易

## 1. はじめに

### 1.1 開発の背景

2020年以降のコロナ禍の巣ごもり需要により、ECによる物品購入の比率が急速に伸長している<sup>1)</sup> (図1)。

特に顧客（個人）ごとに注文を受け付ける通信販売では1回の注文での購入量が少なく、それらを取り扱う物流センターでは個人宅へ配送する小型の荷物が急増し、出荷待ち荷物の仮置き場として今までよりも広いスペースが必要になってきた。

併せて個人からのECでの注文に応えるために多くの商品を物流センターに在庫しておく必要があり、そのため入荷・保管用スペースはさらに広大な敷地が必要となる。

一方で広い物流センターの中で個人が注文した商品をピッキングするために現状は多くの作業員が保管場所まで歩いて移動し、注文された商品を集める作業を行っている事例が多い。この作業が物流センター全体の生産性



図1. EC市場の規模

向上を阻害する要因の一つとなり、作業員の身体的負担の大きさも影響して運営に必要な多くの作業員を確保することが困難になってきている。

このような背景から省スペースで保管でき、ピッキング効率が高く作業員の負担も小さい自動化設備の開発に着手した。

### 1.2 ターゲットとする顧客

EC物流センターといっても取り扱う商材や倉庫の規模には様々な形態があるが、今回の商品開発では中規模の商材・荷物を取り扱う3PL<sup>\*1</sup>業態の物流センターを

※1 マテハン事業部 技術・開発統括 開発部

※2 マテハン事業部 営業統括 セールスEG課

※3 マテハン事業部 技術・開発統括 制御・情報技術部

※4 研究開発センター 先端技術部

ユーザーのボリュームゾーンとして設定した。一般的に3PL業界では荷主との契約が比較的短期間で満了する事例も多いため、多額の設備投資に踏み切ることが難しい。従って倉庫は借用し、設備においても自動化は十分に進んでいないところが多い。そうした背景から中程度の規模でECを展開し、マルチテナント型物流施設\*2)を利用する3PLをターゲットとした。

## 2. T-AstroXのシステム構成

### 2.1 システムの概要

T-AstroXは必要な商品を棚から出庫し、作業者のいる場所へ搬送する一連の工程を全て自動化し、作業者が広大な物流センターを歩きまわることなくピッキング作業を行うことができる設備である。また入荷した商品を棚に格納することで少ない敷地面積に高密度で保管ができる。

前述のターゲットとする業態の特徴より小さい規模から始め、物量に応じて拡張が容易な商品とし、マルチテナント型物流施設にも導入可能な開発仕様を検討した。システムの主要諸元は表1の通り。

T-AstroXのレイアウトを構成する要素は3次元方向に移動可能な「台車」、商品を保管する「棚」、作業者が注文内容に合わせて商品を取り出し、荷合わせ作業を行う「ワークステーション」、商品の補充する際の入庫や荷合わせが完了した商品を装置から排出する「入出庫口」、全ての棚へ横断的にアクセスを可能にする経路「デッキ」から成る(図2、図3、図4)。

台車が棚内を昇降し、目的の商品が保管されている場所まで自動で走行する。その商品を棚から引き出し、作業者の待つワークステーションへ搬送する。ワークステーションでは作業者が商品を必要数量取り出し、商品揃え用の空コンテナへ商品を入れ、注文された商品が全て揃うと入出庫口へ搬送、排出され次工程である梱包工程へ移送する。

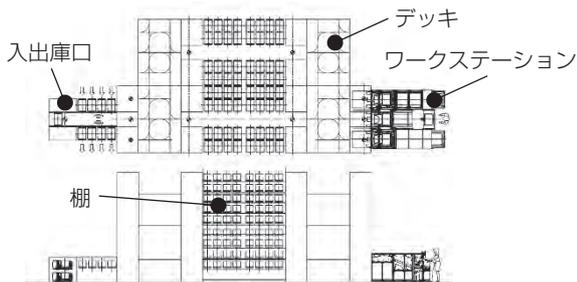


図2. レイアウト

表1. T-AstroXの主要諸元

全長×全幅×全高	41.6m × 9.6m × 5.2m
棚間口数	4320 間口
間口寸法	380mm × 610mm
ワークステーション	3台
入出庫口	3台
平均収納容積	515L/m <sup>2</sup>
台車外寸	L : 950mm W : 720mm H : 455mm
台車走行速度	72 m/min
台車昇降速度	10 m/min
周囲温度	常温 5 ~ 40℃
搬送物	移載トレイ (専用品)
移載トレイ内寸	L : 535mm W : 372mm
搬送質量	35kg (移載トレイ含む)
機械能力	1200cycle/h (1ステーション)

このシステムの大きな特徴は、台車が前後、左右、上下と縦横無尽に自立走行する点である。仮に故障などで台車が停止しても動作に影響の少ない台車は稼働を続けることができるため、設備全体が停止して出荷が遅れるなどのリスクが低い。また能力面でネックとなる昇降動作については、レイアウト内に昇降りフタがないため複数の台車が昇降部へ入り動作することができ、台車の待ち時間を減らして効率よく仕事をさせることができる。

またすでに現場で利用されている汎用コンテナや段ボールも搬送・収納ができるように専用の移載トレイ(以下、トレイ)を用い既存物流現場で採用しやすい仕様とした。

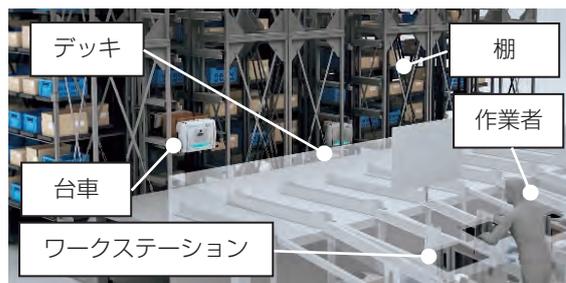


図3. ワークステーション



図4. 入出庫口



図5. T-AstroXの用途

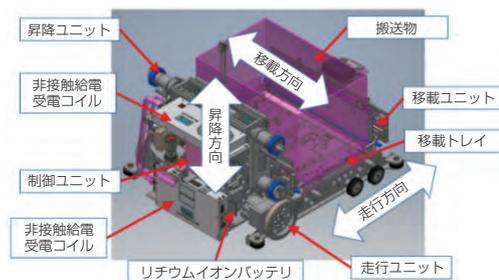


図7. 台車の内部

## 2.2 本設備の使用方法

まず入荷した荷物を検品・加工の際に入荷する商品をコンテナや段ボールへ入れ替え、T-AstroXの入出庫口付近まで運搬し、空のトレイにコンテナ、段ボールを投入する。台車は投入された商品を自動で引き込み自立走行しながら所定の棚へ格納する。一方ワークステーションでは注文された商品を作業者が必要数量取り出し商品の荷合わせを完成させ出庫エリアからコンテナまたは段ボールを排出し、それが方面別に分けて出荷される(図5)。

## 2.3 台車の特徴

### 2.3.1 概要

台車は走行、昇降、荷物を移載するために必要なモータとその制御装置を搭載している。またガイドの無い平面を自立走行させるためのカメラや、必要な演算を処理するPCを搭載し、上位PCより指令を受ける無線ユニットを搭載している。また制御装置やモータを駆動するための電源として、リチウムイオンバッテリーを搭載している(図6)(図7)。

### 2.3.2 移載機構

台車に荷物を引き込み、棚へ押し込む移載機構はアームの先端に可動するレバーを設けトレイの凹部にレバーを引っかけてトレイごと商品を出し入れする(図8)。

また保管量を確保するため、棚1間口で手前と奥の2個のトレイを保管でき、移載可能なダブルリーチタイプを標準とした(図9)。

ダブルリーチの移載方法は①トレイの長手方向前後に凹部を設け、手前側の凹部へレバーを引っ掛ける(図10)。②一旦手前側トレイの位置まで移動させ、③奥側

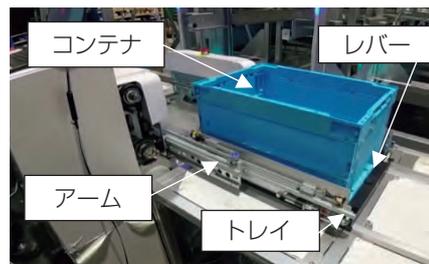


図8. 移載動作およびトレイ

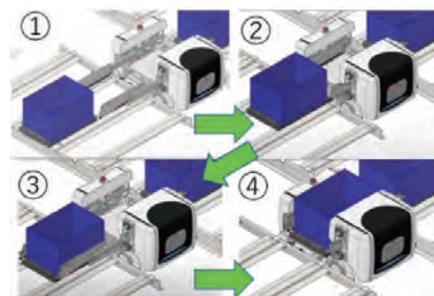


図9. ダブルリーチ移載機構



図10. 移載動作およびトレイ

の凹部へレバーを引っ掛け直して④2段階の動作で奥側トレイの移載を行う。このように移載機構と運用方法の工夫で、収納効率が約20%向上した。

### 2.3.3 デッキ走行

デッキ上では前後、左右の走行をガイドレスでの走行を実現させた(図11)。まず台車にカメラを搭載しデッキ上に張り付けたカラーテープの画像を認識して自動的に進行方向を判断し走行する(以下、ライトレース方式)。カラーテープは複数の色を使い分け、停止、方向転換の位置を識別している。なお台車には左右に個別の走行用モータを搭載して、各々のモータの回転方向や回転数を制御することで、台車の方向転換やスピターンなどの動作を実現している。



図6. 台車外観

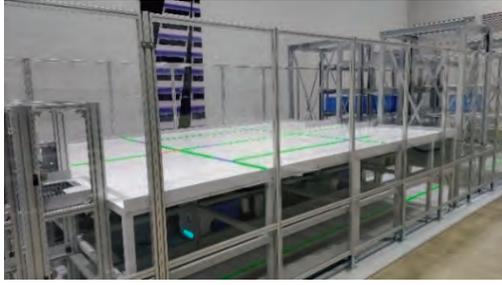


図 11. デッキ



図 12. ワークステーション

## 2.4 棚の特徴

台車側に駆動装置、制御装置、各種センサを集約し、棚側には電源が必要な機器や複雑な動作機構を持たないシンプルな構造であるため、増設などの設置工事が容易である。

## 2.5 ワークステーションの特徴

ワークステーションには3つの取り出し口が有り、中央の間口は商品荷合わせ用の空コンテナが到着し、左右の間口にはピッキングすべき商品が到着する (図12)。同時にピッキングする内容物の情報と数量が表示された画面を見ながら指示通りにピッキングを行うことで、作業ミスを減らしながら効率よくピッキングすることができる (図13)。また中央に凹みを作り左右の移動距離も最小限で済むようにした。例えば左のコンテナからピッキング完了後、すぐに次の台車の入れ替えを行いつつ、並行して右側のピッキング作業を行うことができるため、作業者の待ち時間が少なく、さらに作業効率を向上させることができる。

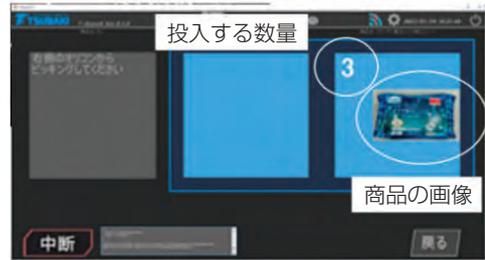


図 13. ワークステーション画面

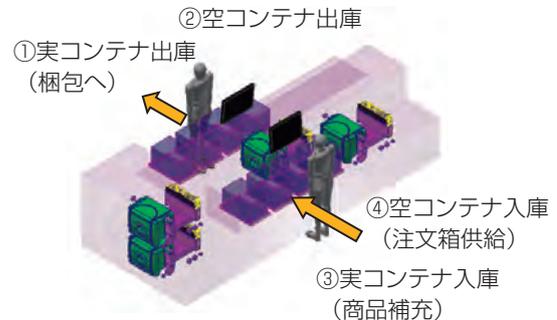
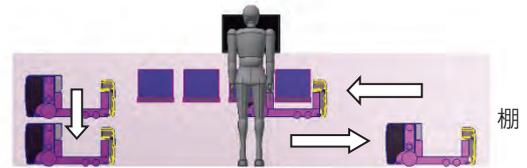


図 14. 入出庫口イメージ

## 2.6 入出庫口

入出庫口にはワークステーションでピッキング作業を効率よく行うために以下4つの機能を搭載した (図14)。

- ①注文が揃った商品入りコンテナを装置外へ出庫する
- ②空のコンテナを出庫する
- ③商品の入ったコンテナを入庫する
- ④空のコンテナを入庫する。

1つ目の機能は出荷するコンテナを排出する機能である。注文が揃ったコンテナは棚に仮置きせず速やかに装置外へ出庫することで棚内の在庫種類を減らす必要がない。また出庫された商品入りコンテナは梱包ラインへ送り梱包後、出荷される。

2つ目の機能は空のコンテナを出庫する機能である。コンテナ内の在庫が空になった場合は補充したコンテナを入れ替えるがタイミングが合わないときに在庫を優先するためである。

3つ目の機能は商品の補充機能で、作業者がピッキングを繰り返すとコンテナ内の商品数は次第に減り、最終的には商品が無くなるため、欠品して注文が揃わない。効率良く出荷を行うためには商品が切れる前に装置内に補充する必要がある。

4つ目の機能は注文の商品を入れるための空コンテナをワークステーションに供給するために入庫する機能である。

台車は入出庫口の上段を走行し、入出庫口で脱荷、載荷を行ったあと1段目へ下降し、再度棚側へ向かう。

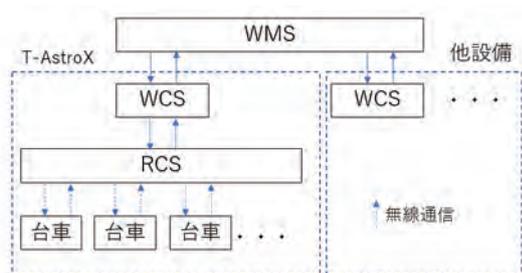


図 15. 全体システム構成図

## 3. 制御・情報システム構成

### 3.1 制御・情報システム構成

物流倉庫を管理するためには大きく分けて全体の在庫を管理する WMS<sup>\*3</sup> が最上位にあり、倉庫内の複数ある設備の制御を管理する WCS<sup>\*4</sup>、複数の台車を制御する RCS<sup>\*5</sup> で構成される (図15)。

### 3.2 WMSの役割

物流センターでは「入荷管理」「在庫管理」「出荷管理」「棚卸し管理」などの作業が膨大になり人手で処理するのは現実的ではないため、これらの作業を効率化するソフトウェアとして WMS が利用されており、WMS は倉庫全体の在庫情報、数量情報、ロケーションなどを管理するシステムである。

また、WMS は必要な商品と数量情報を WCS に送信し、WCS は各機器の動作を指示する。その結果を作業実績として WCS から WMS へ送信し WMS は在庫情報を更新する。これにより物流センターの在庫情報と T-AstroX での作業状況をリアルタイムに同期させ物流センター全体を円滑に運営することができる。

### 3.3 WCSの役割

WCS は設備内に格納されている在庫情報を管理し、上位である WMS の情報を元にピッキング作業を行う順番を決定する。その順番を元に下位の RCS へ出庫指示を行う。

また商品が欠品している場合は、上位の WMS へその商品情報を送信し補充が必要であることを伝える機能も合わせて持つ。

### 3.4 RCSの役割

WCS からの出庫指示を受け RCS が各台車へ移動先を割り当てる。RCS は出庫指示があった商品情報から在庫がどの棚にあるかを判別し台車へ移動先を指示する。また台車同士の衝突を回避するため、例えば計算上同じ

時刻に経路が交差する場合には、走行する台車の優先順位を設けるなどして衝突を回避する経路を設定する。また経路の途中で異常が発生した場合は、即座に新しいルートの計算と台車への指示を実行する。

### 3.5 台車内制御ソフト

台車に搭載している PC の OS は Linux<sup>\*6</sup> でシステム開発に必要なソフトがパッケージ化されている Ubuntu<sup>\*7</sup> を採用し、制御プログラムの言語は Python<sup>\*8</sup> を用いた。Python は開発を効率化するフレームワークライブラリが豊富で、目的や用途に合わせてカスタマイズできること、この言語を用いるユーザー数が多くコミュニティも活発であるため開発中に課題が発生した時に解決策を素早く導き出せることなどを考慮し採用を決定した。

また台車の制御には、ROS2<sup>\*9</sup> を用いて開発したプログラムを実装した。ROS2 は小分けにした複数のプログラム同士を通信させてネットワークを構成し、全体を一つのソフトウェアのように動作させる特徴がある。小分けにされた一つ一つのプログラムをノードと呼び、プログラムを機能ごとにノードへ分割する。ノード単位でのテスト・デバッグによる開発効率向上やソフトウェア全体がクラッシュするリスクの低減などのメリットを重視したことが採用の理由である。

## 4. 今後の課題

### 4.1 開発における課題

ライントレース方式は照明など、周囲の影響を大きく受ける場合があるため、他の異なる追従方式を組み合わせ誘導制御のさらなる精度向上を図る計画である。

### 4.2 EC物流業界以外への適応について

本システムは EC 物流業界の課題を解決する商品として開発してきたが、製造業の現場にも同様のニーズが大きいと考えている。

例えば工程間のバッファとして部品を入庫する使用方法である。上流工程の作業が完了したワークを T-AstroX 内へ格納し、仕掛かり品を床に並べて置くスペースを節約できる。また上流工程の生産量が変動しても仕掛かり品が無くなるまで下流工程は稼働を継続できるため生産量の変動に強いラインになる。

他にも組み立てる部品を入庫しておき、ワークステーションでピッキングし組み立てる部品を 1 つのコンテナにまとめることで作業者が組み立て時に部品を選択する行為を排除し、取り違いを防止するのに役立つ。

### 4.3 自動化レベルの向上、機能改善

今後、省人化につながる機能の追加を計画しており、バーコード無しで判別する技術、異常停止した設備を離れた場所から遠隔操作し復旧する技術、様々な形状のワークをロボットでつかむ把持技術などの要素技術の開発を同時並行で進めている。2025年には人手によるピッキング作業を無人化し、物流センターの夜間設備稼働を実現させるなど商品強化を進める。

Software Foundation の登録商標です。

#### \* 9 ROS2 (Robot Operating System 2)

ロボット開発に用いるオープンソースソフトウェア。ロボットのソフトウェア開発を行うアメリカの企業 Willow Garage が開発した。

## 5. おわりに

今回の商品開発ではこれまで経験のない多数の台車を無線で制御する技術、リチウムイオンバッテリーを設備で安全に使用する技術、PC を使った制御技術などを自社で開発するという貴重な機会を得ることができた。今後はこの技術を水平展開し、様々なソリューションの開発に活用していく所存である。

【特許出願中】

### 参考文献

- 1) 経済産業省 令和3年度デジタル取引環境整備事業（電子商取引に関する市場調査

### 用語解説

#### \* 1 3PL

「Third (3rd) Party Logistics」の略称で、一般的に荷主に対して物流改革を提案し、包括して物流業務を受託し遂行する業態のこと。

#### \* 2 マルチテナント型物流施設

物流施設 1 棟を複数の物流業者が共有し、利用する形態のこと。国内で代表的な物流倉庫開発企業はダイワハウス工業株式会社、本 GLP 株式会社など。

#### \* 3 WMS (Warehouse Management System)

倉庫管理システム (WMS) とは、倉庫への貨物、資材、商品の入出庫管理や在庫管理、棚卸、返品などを管理するシステムのこと。

#### \* 4 WCS (Warehouse control System)

倉庫設備の制御に特化したシステムで物流倉庫内では複数の設備にそれぞれ設けられる。

#### \* 5 RCS (Robot Control System)

T-AstroX 台車の制御プログラムを指す。

#### \* 6 Linux

コンピューター全体の管理と制御を行うオペレーティングシステム (OS) の一種。無料で使用でき、商用・非商用を問わずソースコードを利用、修正、頒布することが許可されている。

#### \* 7 Ubuntu

Debian という Linux ディストリビューションから派生した OS で企業の支援を受け、非常に開発速度が早く、高品質を維持している特徴がある。「Ubuntu」は Canonical.LTD の登録商標です。

#### \* 8 Python

Python とは、オランダ人のガイド・ヴァンロッサム氏が開発したプログラミング言語で、Web 開発やデータ分析など、様々な分野に使える汎用性の高い言語である。「Python」は Python