

住友重機械 技報

SHI 

Oct.2024

No.214

ISSN 0387-1304

Sumitomo Heavy Industries Technical Review



搬送物流設備特集

Special Issue for Material Handling Equipment & Systems

住友重機械技報 No. 214 2024

巻頭言 「搬送物流設備特集号」に寄せて 続木治彦

搬送物流設備特集

論文・報告	天井クレーン自律化に向けた取組み	藤澤 昇	1
	自律機械のための粉体掘削モデルの学習および軌道生成	茶屋道暢	5
	粉粒体シミュレーション技術の開発	廣瀬良太	9
技術解説	新型QuaPro-B(0.9～2.5t)の乗車性向上	長坂勇希	13
新製品紹介	製品保管用マジックラック		16
	大型配送センター向けGTPシステム		17
	宅配水メーカー向け高速マジックラック		19
	2 wayピッカー		21

Message for "Special Issue for Material Handling Equipment & Systems" Haruhiko TSUZUKI

Special Issue for Material Handling Equipment & Systems

T/PAPERS	The Actions for Autonomic Overhead Cranes.	Noboru FUJISAWA	1
	Training of Powder Excavation Model and Trajectory Planning for Autonomous Machines	Toru CHAYAMICHI	5
	Development of Powder and Granular Material Simulation Technology	Ryouta HIROSE	9
T/INVITATIONS	New QuaPro-B(0.9-2.5t) Improved Rideability	Yuki NAGASAKA	13
NEW PRODUCTS	MagicRack for Product Storage		16
	GTP Systems for Large Distribution Center		17
	High Speed MagicRack for Delivery Water Manufacturer		19
	2 way-Case Picking and Assortment Machine		21

「搬送物流設備特集号」に寄せて

執行役員
住友重機械搬送システム株式会社 代表取締役社長

続 木 治 彦



現在の社会課題にはESGに関連する重要なテーマが多数ありますが、そのなかでも社会インフラを支える搬送物流分野においては、労働力不足や環境問題に関係する重要かつ緊急的なものが数多くあります。

本特集では、住友グループ起源となる鉱山機械を源流に100年以上にわたる歴史を積み重ねてきた住友の搬送物流事業が、現在取り組んでいる各種技術課題の一部を紹介させていただきます。

住友重機械グループが提供する搬送物流設備は油圧ショベル、産業用や建設用クレーン、自動倉庫、フォークリフトなど多機種に及びます。運ぶ対象物も重量では数十キロから数千トン、品種ではクリーンルームで扱うフィルムから造船所の船殻ブロックといった「カサもの」や、燃料用のバイオマスや還元鉄鋼材料などの「バラもの」など、その取扱い幅は極めて大きなものになっています。

そのような広大なダイナミックレンジの対象物に対して、技術研究所と事業部がいろいろな分野で密接にタイアップして開発した各種解析技術、シミュレーション技術や自動化技術で、それぞれの扱い物の特性にマッチした最適なハンドリングを、他社の追随を許さない信頼性、効率性、高密度保管性能といった基本性能と合わせて、高度な次元での実現を図っています。

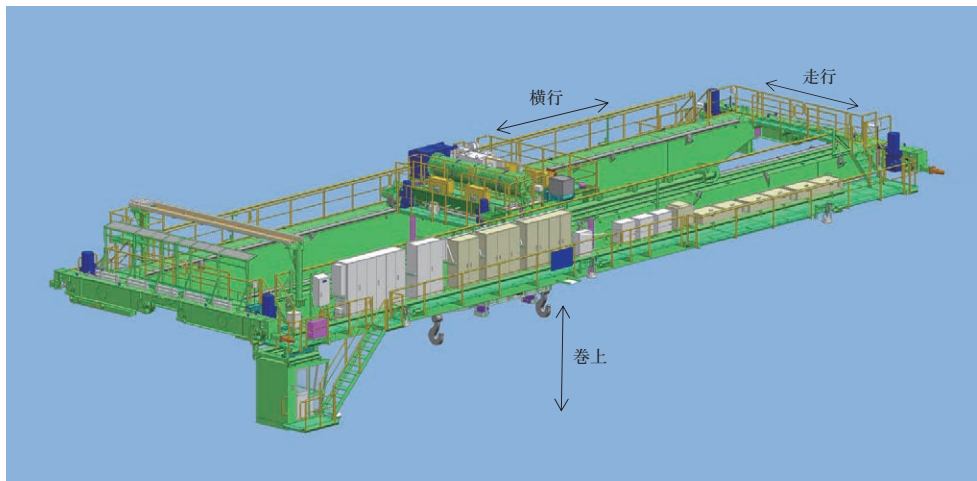
紹介事例には、今年度制定された住友重機械グループのパーパスでも謳っている「人と社会を優しさで満たす」という言葉通り、運転者に対しては快適な環境での運転作業ができるシステムや乗り降りしやすい車体フォーム、社会に対しては美しい景観との共存を図る自動倉庫など、業界に先駆けて開発しているものもあります。

本特集号では、上記の内容を論文・報告、技術解説、新製品紹介の3分野に分けて説明しています。これらが少しでも皆様のお役に立てば幸甚です。

天井クレーン自律化に向けた取組み

The Actions for Autonomic Overhead Cranes

● 藤 澤 昇*
Noboru FUJISAWA



天井クレーン3Dモデル
3D model of Overhead crane

天井クレーンの動作は、巻上・横行・走行の3次元の単純な動きが主体である。しかし、機体が大きく、鋼構造のため、駆動装置や制御系統の遅れなどの影響を受けるため、吊り荷を所定の位置に運搬する際、運転員が目視確認しながら手動操作で微小な位置合わせを実施している。

住友重機械搬送システム株式会社では、長年にわたり多業種の顧客にさまざまな用途で使用する天井クレーンを製造し、納入している。近年の少子高齢化による労働人口の減少や、かつての3K(きつい・汚い・危険)職場の敬遠傾向、加えて働き方改革などへの対応としてDX(デジタルトランスフォーメーション)の展開として、現在、天井クレーンの自律化に取り組んでいる。

本報では、天井クレーンの自律化に向けた次の取組みについて述べる。

- ・吊り荷の振れ止め
- ・吊り荷の形状認識
- ・操作環境の改善
- ・クレーンの状態監視

The operation of overhead cranes mainly involves three-dimensional simple movements, which are hoisting, trolley traveling and gantry traveling. However, due to the huge size of the overhead cranes, factors such as the deflection of steel structures, delays in the drive system and control system, affect the precise positioning of the load. Therefore, operators manually perform fine adjustments while visually confirming the goal position of the load. Sumitomo Heavy Industries Material Handling Systems has been manufacturing and delivering overhead cranes for various industries and applications for many years. Recently, in response to the decreasing labor force due to aging population, the avoidance of 3K (kiken, kitanai, kitsui) workplaces, and efforts toward workstyle change, we are working on the autonomous transformation of overhead cranes through digital transformation (DX). In this article, we discuss the following initiatives toward the autonomy of overhead cranes.

- ・ Load swing prevention
- ・ Load shape recognition
- ・ Improvement of operating environment
- ・ Crane condition monitoring

1 まえがき

工場内で使用される天井クレーンは、重量物の運搬に必要不可欠な設備であり、万一、故障停止すると工場の操業ラインが止まる可能性がある。天井クレーンを安定して操業ラインで使用するには、故障しないこと、メンテナンスしやすいこと、操作しやすいことが重要となる。

天井クレーンの動作は、巻上・横行・走行の3次元の単純な動きが主体である。しかし、天井クレーン自体の機体が大きい

ことから、車輪つばとレールのガタ、鋼構造のため、ワイヤロープの振れ、駆動装置や制御系統の遅れなどの影響を受けやすく、所定の位置に吊り荷を運搬する際に、運転員が目視確認して手動操作で微小な位置合わせを実施している。

そのなかで、住友重機械搬送システムでは、将来的に天井クレーンを自律化させることを目的として半自動運転、自動運転および遠隔操作に取り組んでいる(2章以後は、半自動運転、自動運転、遠隔操作を総括し「自動運転」と簡略化して記載する)。

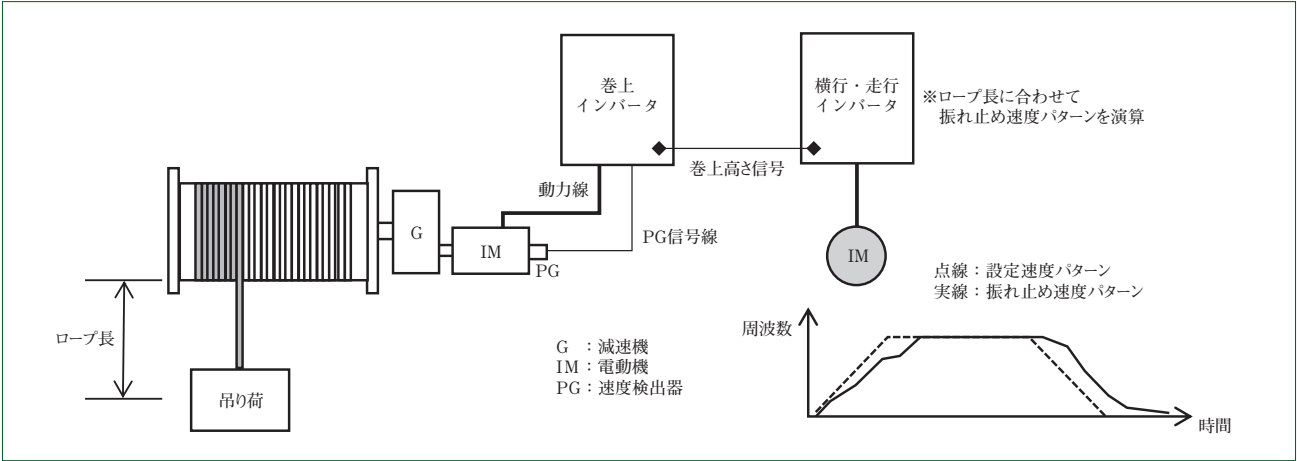


図1 インバータによる振れ止め制御システム構成図
System configuration for load swing prevention control using inverters

2 操作性改善

従来、天井クレーンは運転室内で巻上・横行・走行を個別に手動操作することを基本としてきた。運転員が天井クレーンに乗り込んで手動操作し、操業状況に合わせて吊り荷を所定の位置へ運搬することから、その合間に待機時間が発生している。無線操縦装置を適用する場合においても、運転員が天井クレーンの下まで移動して操作している。その際、運転員は直接の目視確認のほか、運転室内で操作する場合は、天井クレーン上や建屋に設置されたカメラ映像を目視確認しながら安全を確保している。また、天井クレーンの操作は、運転員の経験により吊り荷の玉掛、地切り、運搬中、蔵置、玉外しの各段階で、吊り荷の挙動が大きく変わる。経験のある運転員ほど吊り荷の振れを発生させることなくハンドリングしているが、経験の浅い運転員では操作に慣れるまでに時間が必要である。

これまで住友重機械搬送システムでは、天井クレーンの設計において故障頻度の低減およびメンテナンス性の向上を重要視して取り組んできたが、近年の少子高齢化による労働人口の減少や、かつての3K職場の敬遠傾向、働き方改革などへの対応として、次に挙げる運転員の操作性改善へのニーズの高まりにより、DXを進めようとしている。

- ・オペレータの熟練度を問わない運転アシスト機能の付加
- ・吊り荷の設置状態に合わせた自動運転の実現
- ・省人化、運転員の負担軽減を目的とした遠隔操作の適用
- ・地上での天井クレーンの状態監視

3 自動運転に向けた課題と取組み

3.1 吊り荷の振れ止め

3.1.1 課題

天井クレーン動作中に吊り荷に振れが発生すると、振れを止めるための操作に時間がかかり、サイクルタイムが悪くなる。吊り荷の大きな振れは、地上設備との干渉を発生させる危険もあることから、天井クレーンを操作する場合、吊り荷の移動と同時に振れの発生を抑える必要がある。運転員は、職人技で振れ止め操作を行っているが、その技量は経験によ

表1 振れ止め制御による振れ量の変化
Amount of load swing due to anti-swing control

No.	荷重	ロープ長 (m)	振れ止め制御	
			無効	有効
1	なし	2.2	1 (基準)	0.2
2		5.2	6.2	1.3
3		8.2	23	8.5
4	あり	8.2	6.1	4.6
5		9.5	10.9	8.9

<測定条件>
・運転 : 走行
・運転パターン : 100%速度から0%速度に減速停止
・荷重条件 : 20t吊上げ
・ロープ長 : 荷重なし ロープ長
荷重あり ロープ長+玉掛ワイヤ長
・残留振れ : ブレーキ停止後の振れ量の最大値
(条件No.1 振れ止め制御無効を基準)

り個人差が生じる。近年、世代交代が進み、経験の浅い運転員が増加しており、振れ止め操作に慣れるまでに時間がかかることから、運転アシスト機能へのニーズが高まっている。

また、天井クレーンを運転室内や無線操縦装置で操作する場合、吊り荷の振れを目視確認することができるが、天井クレーンから離れた場所で遠隔手動操作を行う場合は、運転員が天井クレーンの動きや吊り荷の振れを直接目視確認できない。このことから、遠隔手動操作に対する実動作の遅れや実動作を撮影したカメラ映像の通信遅れにより、振れ止め操作ができない可能性がある。

3.1.2 取組み

天井クレーンの駆動装置には、主にインバータ制御が採用されている。近年、振れ止め機能を有するインバータが開発され、実用化されている。住友重機械搬送システムでは、インバータメーカーと共同でインバータの振れ止め機能の有効性を検証する試験を実機にて行った。その結果、吊り荷の横行・走行方向の移動中に発生する吊り荷の振れが抑制され、有益な手法であることが確認できた。

運転員の操作に合わせた加速、一定速、減速の設定速度パターンをインバータ内部で振止速度パターンに変換し、その結果に従ってモータを駆動させることで、吊り荷の振れ止め制御を実現した。

図1に、インバータによる振れ止め制御の模式図を示す。
表1に、振れ止め制御の有無によって停止時に残る振れ量



図2 コイル形状認識の機器配置
Equipment configuration for coil shape recognition

(残留振れ)を計測した結果を示す。インバータの振れ止め機能により残留振れが小さくなっていることが分かる。吊り荷の振れ量は、フックにジャイロセンサを取り付けてその傾向を観測した。ジャイロセンサによる振れ角の検出精度を考慮し、表1の条件No.1の振れ量を基準1とし、各条件の振れ量を割合で算出して結果をまとめた。

結果としては、無負荷時の方に顕著な差が見られた。負荷時はフックに玉掛ワイヤを吊り下げ、さらに玉掛ワイヤでテストウェイトを吊り上げており、単振子ではなく2段振子のかたちとなったことから、振れ止め制御の無効時においても振れが発生しづらい状態だったものと考察する。

3.2 吊り荷の形状認識

3.2.1 課題

従来の天井クレーンの自動運転では、決まった位置に置かれている吊り荷を吊り上げるために決まった位置までフックを移動させ、決まった吊り荷にフックを玉掛けし吊り上げ、目的地まで運搬する動作を行ってきた。その際、安全を確保すべく一連の流れをステップに分け、ステップごとに運転員が実際の吊り荷、もしくはITVカメラの映像を目視確認し、次のステップへの移行の可否を判断して操作を実行してきた。

天井クレーンを自律化させるには、吊り荷の位置をセンシングし、認識した吊り荷の形状および位置に合わせた自動運転が必要である。また、吊り荷の形状に合わせた吊り具を使用する場合には、天井クレーン自体が吊り上げている吊り具の位置と対象となる吊り荷の形状を認識し、お互いの相対位置を合わせて吊り上げることが必要となる。

3.2.2 取組み

現在、吊上げ対象物の形状を検出するセンサとして、LiDARの適用を進めている。2D/3D LiDARを用い、対象となる吊り荷の形状および吊上げ・蔵置位置を検出することで、自動運転で対象物を吊り上げることに取り組んでいる。

LiDARを用いた場合、検出した点群データのデータ量が多くなると、形状認識の計算処理に時間がかかることから、点群データの制限と条件設定を行い、検出精度の向上および実用化に向けて開発を行っている。

図2に、3D LiDARを用いたコイル形状認識の機器配置を

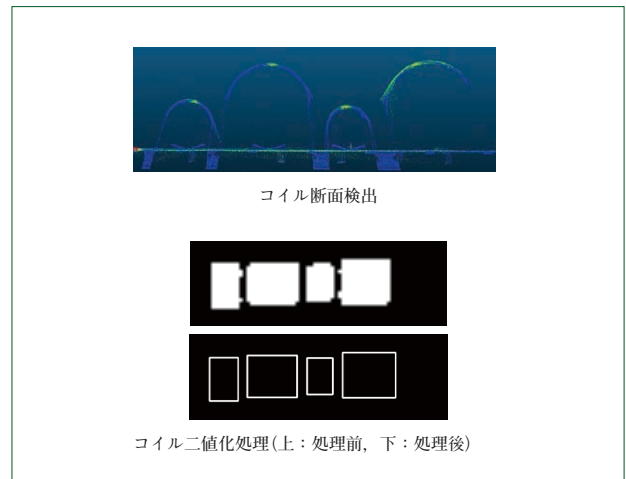


図3 コイル形状認識結果
Result of coil shape recognition

示す。コイルを吊り上げる専用吊り具を天井クレーンが吊り上げ、吊り具の先でコイルを吊り上げるかたちとなる。

図3に、3D LiDARにより検出された点群データを処理し、コイル端面を検出した結果を示す。コイルの位置座標および形状を検出できることが確認できた。

3.3 操作環境の改善

3.3.1 課題

天井クレーンを運転室で操作する場合、運転員は閉鎖された空間で長時間イスに座り、上下左右を目視確認しながら運転していることから身体に負担がかかる。また、天井クレーン1台につき運転員1名が必要となり、操業状況により待ち時間が発生する。

近年、運転員のなり手が減少しており、その対策として運転員の操作環境改善へのニーズが高まっている。

3.3.2 取組み

住友重機械搬送システムでは、無線通信装置を用い、建屋側操作室と天井クレーンの間でクレーン操作信号、状態信号、映像信号などを送受信し、天井クレーンの遠隔手動操作の実現に取り組んでいる。建屋側操作室から受信したクレーン操作信号に従い、天井クレーン上の制御盤を駆動することで動作させることができる。

遠隔手動操作の実現のためには、映像と状態信号のみで運転員の臨場感および安全を確保することが必要となる。信号や映像を無線通信装置で伝送した場合、必ず遅れ時間が生じるが、実運用上でトータルのサイクルタイムへの影響を抑えて運転員が遠隔操作時に感じる違和感を最小限に抑えるべく開発に取り組んでいる。

図4に、天井クレーンの遠隔操作のシステム構成図を示す。本構成を実現させることにより、運転員の操作環境が改善されるだけでなく、運転員1名で複数台の天井クレーンを操作できるようになり、運転員の減少対策につなげることができる。

3.4 クレーンの状態監視

3.4.1 課題

天井クレーンに自動運転を適用した場合、運転開始前の日常点検や定期メンテナンス時以外に天井クレーン上に人が乗

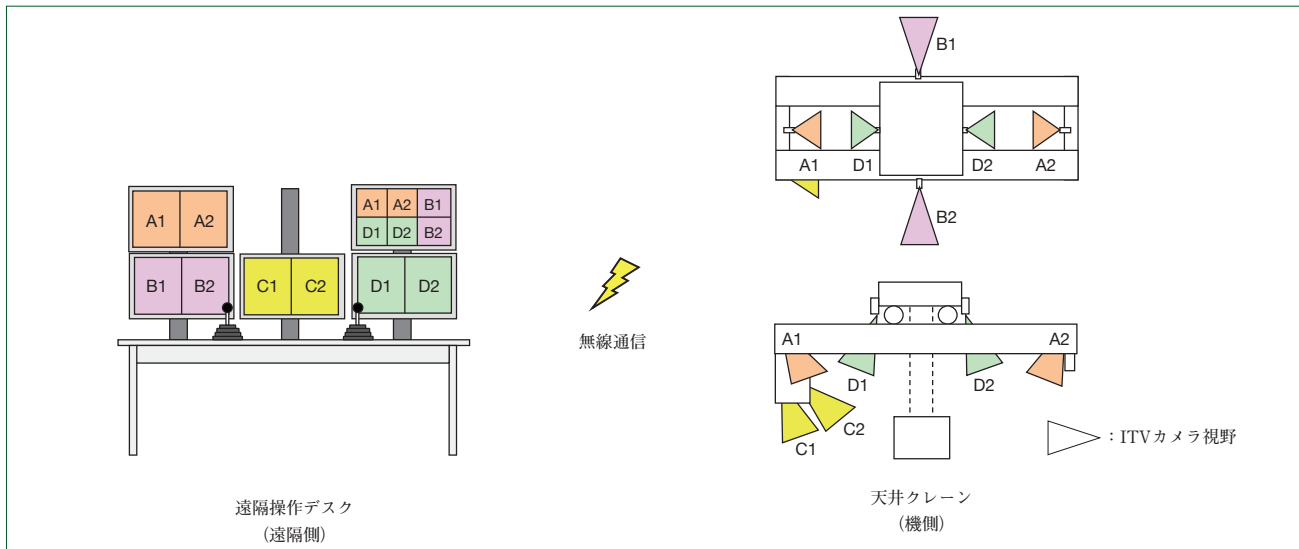


図4 天井クレーン遠隔操作 システム構成
System configuration of remote control for Overhead crane

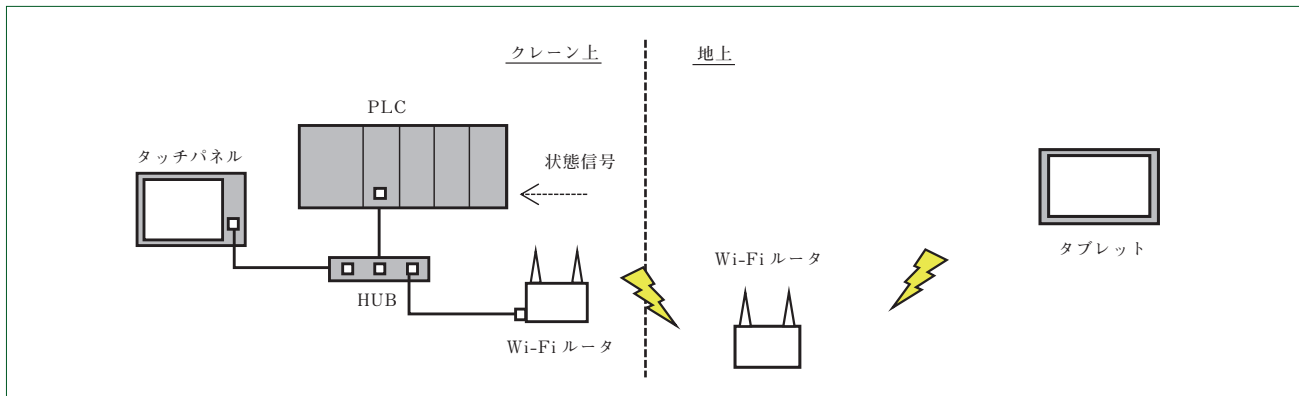


図5 クレーン運転状態表示 システム構成
System configuration of operation status display for Overhead crane

らないことから、運転中に異常を発見できない可能性がある。また、自動運転中に機器に故障が発生した場合、従来は運転員の五感で感知していた異常に気づけないことが考えられる。故障発生時に天井クレーンを安全に停止させること、停止させた後に故障内容を早期に把握し復旧することが重要となる。

この問題を早期に解決するために必要なのは、天井クレーンから離れた場所に監視システムを置いてクレーンの運転状態を詳細に把握することである。

3.4.2 取組み

住友重機械搬送システムでは、従来から天井クレーンの運転室や電気室、制御盤に運転状態や故障情報を確認できるタッチパネルを搭載してきた。現在、天井クレーン上で確認できるタッチパネルと同じ内容をモバイルタブレットに表示させ、地上でも確認できるように機器構成を改善している。図5に、そのシステム構成図を示す。

モバイルタブレットに表示させることにより、天井クレーンに上がることなく地上で常時状態監視を行うことができる。また、故障発生時に故障情報を確認することで天井クレーンに上がる前に準備することができ、天井クレーンと地上との行き来による余計な労力を省くことができるようになる。さ

らに、状態データを蓄積し、駆動装置などの傾向監視を行うことで、故障予兆や予防保全に役立てることができる。

4 おわりに

天井クレーンの自律化とは、機械が自律的に対象物を確認して搬送経路を動くことであり、作業員が最低限の指示を行う、いわば完全自動運転と考える。

現在、住友重機械搬送システムでは、運転員からの指令に合わせて天井クレーンが動作する自動運転、もしくは天井クレーンが吊り荷対象を検知し、運転員が安全を確認した後に運転員の手で動作を開始させる自動運転に留まっている。

3章で述べた自動運転に向けた取組みを実用化し、次に示す課題を解決し実機検証をさらに進め、天井クレーンの自律化につなげるべく取組みを加速させたい。

- ・一人の運転員によるクレーン複数台の運転
- ・過酷な環境に設置されるクレーンの遠隔運転
- ・遠隔地での複数工場でのクレーンの集中運転

自律機械のための粉体掘削モデルの学習および軌道生成

Training of Powder Excavation Model and Trajectory Planning for Autonomous Machines

●茶屋道 暢*
Toru CHAYAMICHI

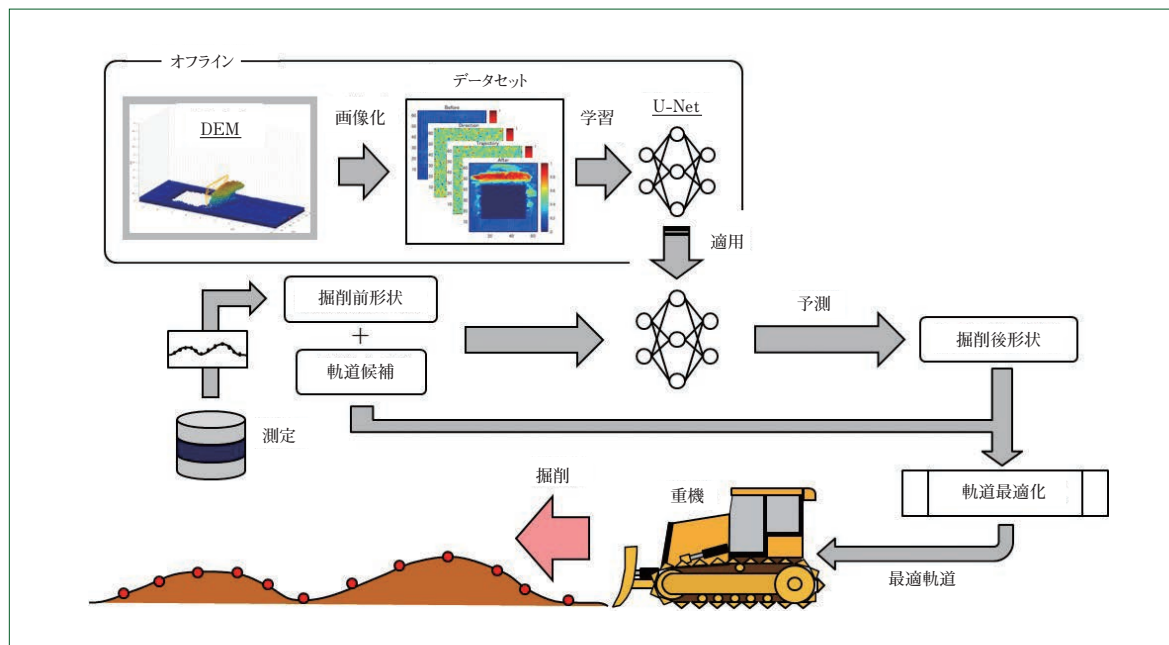


図1 全体構成
Overall structure

近年、労働力不足の解消と労働者の安全確保を目的に、機械の自律化が進められている。住友重機械搬送システムでは、ばら積み船荷役の自動化を進めている。そこで本報では、ばら積み船荷役の自律化においても必要な底さらい作業の効率化を目指して行った、粉体を扱う機械の自律化に関する研究について述べる。DEMシミュレーションから収集した掘削データをもとに、リアルタイム計算が可能な掘削モデルをU-Net⁽¹⁾で学習し、所望の粉体形状に変形するための掘削軌道を生成する方法を提案する。

In recent years, the automation of machinery has been promoted with the aim of alleviating labor shortages and ensuring worker safety. This report presents a study on the automation of machinery handling bulk materials, focusing on the efficiency of bottom cleaning operations necessary for the autonomy of bulk cargo handling. A real-time computable excavation model was trained using U-Net based on excavation data collected from DEM simulations, and a method for generating excavation trajectories to transform bulk materials into desired shapes is proposed.

1 まえがき

近年、労働力不足の解消や労働者の安全確保を目的として、多くの分野で機械の自律化が推進されている。その一例として、製鉄所や発電所などの港湾設備で行われるばら積み船荷役の自律化が挙げられる。ばら積み船荷役では、アンローダを使用して船倉内の石炭や鉄鉱石などの取扱い物を地上設備へ移載するが、荷役の終盤では、ブルドーザやショベルなどの重機を船倉内へ投入し、これらの重機でアンローダがかき取りやすいように残荷を集約する底さらい作業が行われる。同作業は、ばら積み船荷役の完全自律化に不可欠な工程である一方で、機械が石炭などの粉体に作用すると、その特性に応じて粉体に変形することから、モデル化が難しいという問題があった。本報では、粉体を扱う機械の自律化のため、粉体

シミュレーションから収集した掘削データよりリアルタイム計算が可能な掘削モデルを学習し、粉体を所望の形状に変形させることを目的とした掘削軌道を生成する方法を提案する。図1に、全体構成を示す。

粉体シミュレーションにはDEM (Discrete Element Method)⁽²⁾⁽³⁾を利用し、特に石炭や土砂などの粉体は粘着性を有することからUtili⁽⁴⁾らの粘着性のモデルを導入した。掘削軌道を変えながら多数のシミュレーションを行い、粉体の変形の様子を記録したデータを収集した。しかし、DEMは実際の粉体をよく再現するものの計算負荷が大きく、リアルタイム性が要求される機械の動作の軌道生成に直接適用することはできない。

そこで、収集した掘削データからリアルタイム計算が可能な掘削モデルを学習させた。粉体シミュレーションを深層学

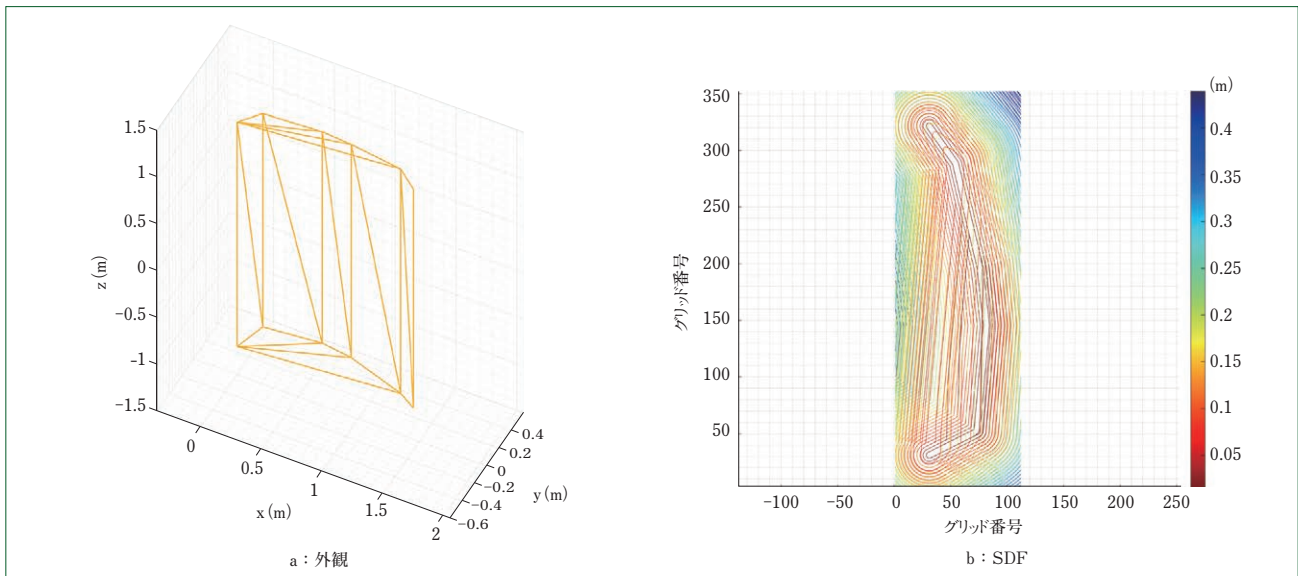


図2 ブレードモデル
Blade model

習モデルで近似する従来研究として、Battaglia⁽⁵⁾らは、数個の粉体の挙動を近似した。また、Li⁽⁶⁾らは大規模な粉体の変形を深層学習モデルで近似し、モデル予測制御で操作したが、粒子を個別にモデル化するので、依然として演算量が大きくリアルタイム計算は難しかった。そこで本研究では、個々の粒子ではなく、掘削前後の粉体形状に着目した。収集した掘削データより、掘削前後の粉体高さおよび掘削軌道を画像化し、深層ニューラルネットワークの一つであるU-Netで学習させることでリアルタイム計算が可能な掘削モデルを開発した。掘削モデルは、掘削前の粉体形状と掘削軌道から掘削後の粉体形状を予測する。この掘削モデルを使用し、予測結果が所望の粉体形状に近づくように掘削軌道を探索することで軌道生成を行った。本報では、底さらい作業をモデルケースとして、ブルドーザによる粉体の集約作業について評価を行い、粉体の集約とリアルタイム性を確認した。

2 ブルドーザによる掘削シミュレーション

本章では、ブルドーザによる粉体の掘削シミュレーションの設計および掘削モデルの学習を目的としたシミュレーションデータ収集の方法について述べる。粉体挙動の再現にはDEMを採用し、シミュレーション空間内に配置した粉体に対して、ブルドーザのブレードモデルを掘削軌道に基づいて作用させることにより掘削を再現した。さらに、ランダムなブレードの動作について多数のシミュレーションを行うことで、3章で詳述する掘削モデルを学習させるためのシミュレーションデータを収集した。

粉体サイズは50mmで、初期の粉体を高さ0.25mの平坦な形状とした。ブルドーザの基本動作として、①ブレードを下ろし、②前方または後方に走行し、③ブレードを上げる、と規定した。また、①～③の各動作中は、ブレードは等速で動くものとした。計算を簡易にすべく、ブルドーザのブレードのみが粉体と相互作用するものとし、掘削開始点の移動については扱わないものとした。図2aに、ブレードモデ

ルの外観を示す。DEMでは、オブジェクト間に作用する接触力は相互距離に基づいて算出される。この距離計算は、SDF (Signed Distance Field) と呼ばれる距離場(図2b)をブレードについてあらかじめ計算しておくことで効率化した。図3に、DEMシミュレーションを示す。掘削開始点と終了点、および掘削方向をランダムに生成し、これを掘削軌道と呼称した。

初期の粉体形状から掘削を行い、形状を引き継いで5回の掘削を行った。これを1セットとして100セット、計500回の掘削シミュレーション試験を行った。試験時に与えた掘削前粉体形状、掘削軌道および試験によって得られた掘削後粉体形状を深層学習の学習データとして利用した。

3 掘削モデルの学習

本章では、ブルドーザの掘削などによる粉体の変形を予測する掘削モデルについて説明する。2章では、ブルドーザの掘削動作をDEMシミュレーションで再現したが、高速に最適掘削軌道を探索したい場合、掘削軌道の各候補を評価するたびにDEMの計算を行うのは計算速度の観点から現実的ではない。したがって、DEMシミュレーションを深層学習モデルでサロゲートすることで、掘削計算の高速化を図った。本研究では、学習アルゴリズムとしてU-Netを使用し、次に示す①～③のように、粉体の形状および掘削軌道を画像に変換することで、U-Netに入力可能なものとした。

① 掘削前・掘削後画像

シミュレーション領域における長さ方向をx軸、幅方向をy軸、高さ方向をz軸として、位置(x, y)を画像のピクセル位置(u, v)と対応させ、高さzを画像の対応する位置のピクセル値とした。

② 軌道画像

掘削開始点から終了点までのx範囲およびブレード幅のy範囲をxy平面に投影し、同範囲の画素値をブレードの刃先高さとし、それ以外の部分を0以上1以下の一様

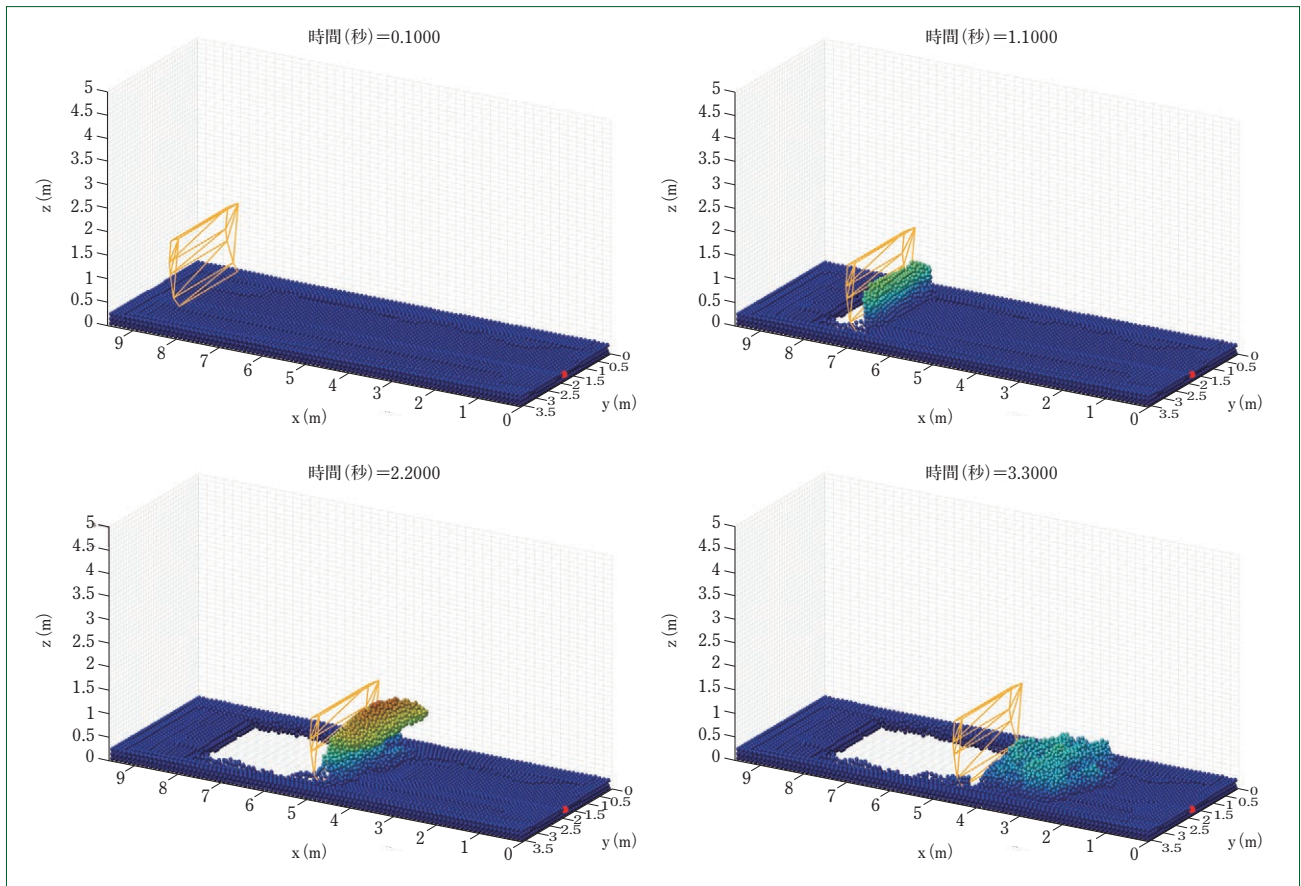


図3 DEMシミュレーション
DEM simulation

乱数として、粉体高さ画像と同じ解像度で画像化した。

③ 方向画像

掘削方向情報として、軌道画像と同じ範囲の画素に対して、前進掘削を行う場合は画素値を+1、後退掘削を行う場合は画素値を-1、それ以外の部分を-1以上1以下の一様乱数として画像化した。

上述の①～③で作成した各画像をさらにリサイズし、64×64pxとした。図4に、粉体形状の画像変換結果の一例を示す。

作成したデータセットを使用して、U-Netによる学習を行った。学習済みモデルを掘削モデルと呼称し、同モデルの適用性を評価すべく、DEMシミュレーションの結果を真値として掘削モデルによる予測結果と比較した。それぞれの掘削後画像の各画素に対して、DEMシミュレーション結果と掘削モデル予測結果の絶対誤差を算出した。100掘削分の絶対誤差平均は35.7mmであった。これは、粉体1個分以下の誤差であり、これらの結果から、DEMシミュレーションを学習済みモデルで近似可能と判断した。

4 最適軌道生成

本研究では、軌道候補のなかから、所望の粉体形状に最も近づく軌道を最適軌道として選択し、これによる掘削を重ねることで、全体としての粉体の集約を目指すものとした。まず、粉体の集約度を表す評価関数 E を設計した。軌道生成における集約の目的は、中央に粉体を集めることとした。これは、本研究のモデルケースである底さらい作業の目的に則

している。 A_{before} 、 A_{after} をそれぞれ掘削前後の画像を行列表現したものとし、 A_{diff} を式(1)のように定義すると、 A_{diff} は掘削前後の粉体高さの変化量を行列表現したものとなる。また、式(2)のように、 $w(u,v)$ を粉体移動前後の増減に対する重み関数として、2変数ガウス分布で表現した。ここで、 α は調整係数である。この重み関数を適切に設計することで、粉体の集約を調整する。そして、式(3)のように、各ピクセルの粉体高さ変化量と重みの積を足し合わせたものを評価関数とした。

$$A_{diff}(u,v|\theta) = A_{after}(u,v|\theta) - A_{before}(u,v) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$w(u,v) = \alpha N(u,v|\mu, \Sigma_{inc}) - (1-\alpha)N(u,v|\mu, \Sigma_{dec}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$E(\theta) = \sum_{(u,v)} w(u,v) A_{diff}(u,v|\theta) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\theta = (p_0, p_1) \quad \dots\dots\dots (4)$$

次に、掘削モデルを利用した最適軌道生成について手順を示す。

- ① 掘削前の粉体形状を測定する
- ② 軌道候補を規定数だけランダムに生成する
- ③ 各候補と掘削前の粉体形状情報を掘削モデルに入力し、掘削後の粉体形状を取得する
- ④ 前述の評価関数を使用して、最も粉体が集約される軌道を選択し、最適軌道とする

5 シミュレーション試験および模型試験による評価

掘削シミュレーションおよび縮小環境による模型試験により、粉体の集約を評価した。まず、掘削シミュレーションに

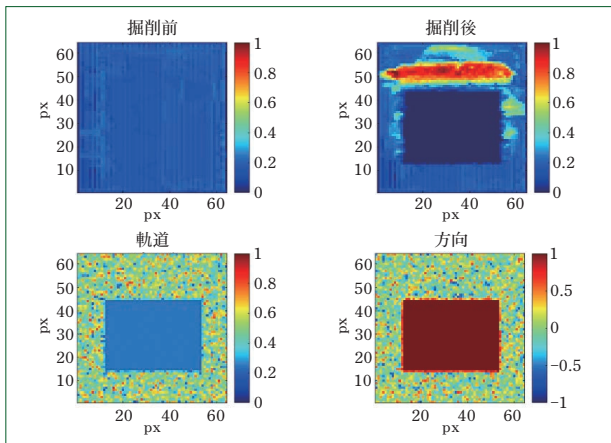


図4 粉体形状の画像変換結果
Imaged powder shape

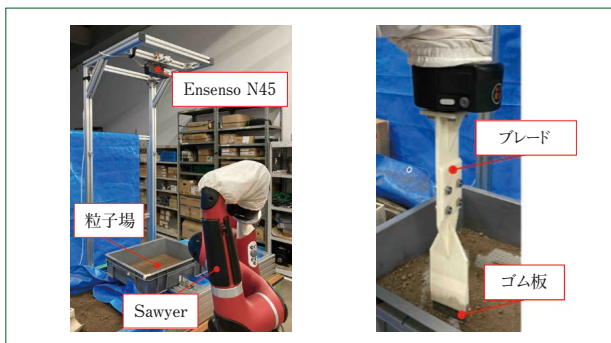


図6 試験装置
Experimental equipment

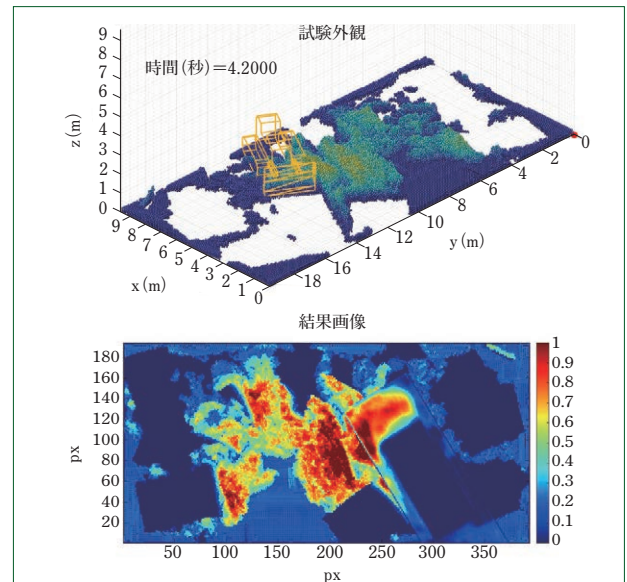


図5 掘削シミュレーション
Excavation simulation



図7 試験結果
Experimental results

ついて、空間のサイズを長さ20m×幅10m×高さ10mとした。本試験では、ブルドーザはxy平面上で任意の方向に掘削可能なものとした。候補軌道をランダムに50通り生成し、各軌道を3章で作成した掘削モデルで予測して集約具合を評価関数Eで評価し、最も良い結果を最適軌道として選択した。これを1掘削として30掘削行う試験を実施した。

シミュレーション試験には汎用パソコンを使用した。30掘削における軌道生成の平均計算時間は0.047sであり、演算時間に問題がないことが確認できた。図5に、掘削シミュレーションの試験外観と結果画像を示す。評価関数による軌道の選択で粉体が中央に集まっていることが確認できる。

次に、模型試験について述べる。模型試験はRethink Robotics社製の協働ロボットSawyerによって再現した。Sawyerのアーム先端には、ブルドーザのブレードを模したパーツが取り付けられている。試験領域は長さ440mm、幅390mmであり、約1/40スケールである。土砂高さの計測には、Ensenso N45を使用した。シミュレーション試験と同様に候補軌道50通り、30掘削の試験を実施した。図6に試験装置を、図7に試験結果画像を示す。測定した掘削前情報と軌道から掘削後を予測し、評価関数に基づいて粉体が集約される最適な軌道を選択して中央に粉体を集めることに成功した。

6 むすび

- (1) 粉体制御問題へのアプローチとして、DEMシミュレーションで掘削データを作成し、それをU-Netで学習さ

せることにより、高速な掘削予測モデルを生成した。

- (2) 粉体の集約具合を表現する評価関数を設計し、掘削シミュレーションを実施して粉体の集約を確認するとともに、演算時間に問題がないことを確認した。
- (3) 縮小環境における試験でも同様に粉体が集まることを確認した。

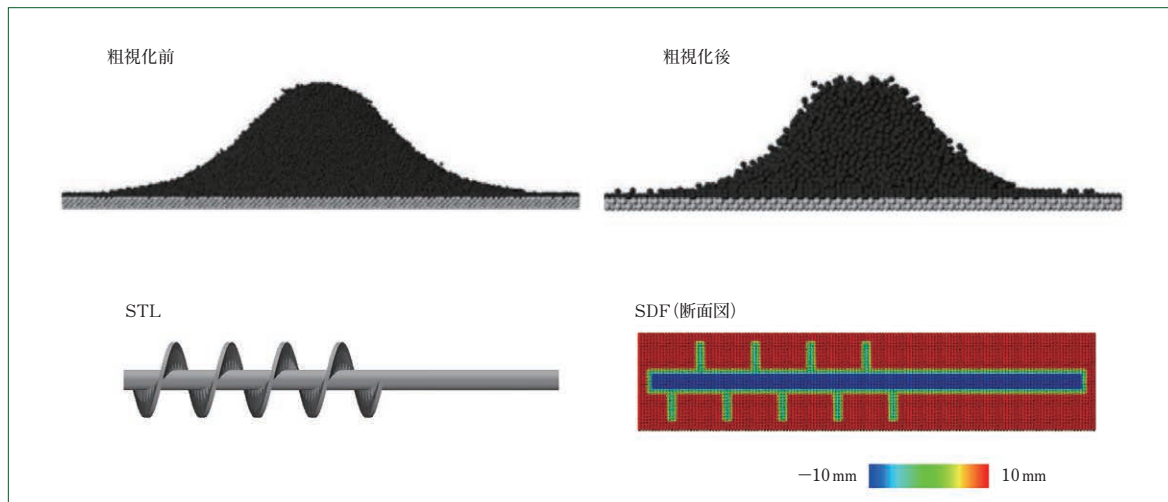
(参考文献)

- (1) Ronneberger, Olaf, et al., U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation, Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention-MICCAI 2015: 18th International Conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, Proceedings, Part III 18. Springer International Publishing, 2015.
- (2) Cundall, P. A., and O. D. L. Strack, Discussion: a discrete numerical model for granular assemblies, Géotechnique 30.3 (1980): 331-336.
- (3) 酒井幹夫, 粉体の数値シミュレーション, 丸善出版, 2012.
- (4) Utili, S., and Nova, R., DEM analysis of bonded granular geomaterials, International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics 32.17 (2008): 1997-2031.
- (5) Battaglia, Peter, et al., Interaction networks for learning about objects, relations and physics, Advances in neural information processing systems 29 (2016).
- (6) Li, Yunzhu, et al., Learning Particle Dynamics for Manipulating Rigid Bodies, Deformable Objects, and Fluids, ICLR2019.

粉粒体シミュレーション技術の開発

Development of Powder and Granular Material Simulation Technology

● 廣瀬 良太*
Ryouta HIROSE



粗視化前後での安息角シミュレーション結果とスクリーンの SDF モデル
Simulation results of angle of repose before and after coarse graining and SDF model of screw

粒子動力学法をもととした粉粒体のシミュレーション手法には分子動力学法に似た相互作用が用いられており、さらにエネルギー散逸項を付加した定式化となっている。そこで、我々が開発したくりこみ群分子動力学法のくりこみ変換則を参考に、今回粉粒体のシミュレーション手法の粗視化変換則を新たに開発した。この変換則を用いることで、少ない粒子数で相似な結果が得られることを確認した。さらに、符号付距離関数を用い剛体形状を表現することで、複雑な剛体モデルを含む粉粒体シミュレーションを高い形状精度と低い計算コストで実現した。本報では、この技術をスクリーフフィーダのシミュレーションに適用し、搬送量が理論式と比較してよく一致することを示す。

Simulation methods for powder and granular materials based on particle dynamics method use interactions similar to those used in molecular dynamics method, and are formulated to include an energy dissipation term. Therefore, based on the renormalization transformation rule of the renormalization group molecular dynamics method that we had developed, we developed a new coarse-grained transformation rule for the simulation method of granular materials. We confirmed that using this transformation rule, similar results can be obtained with a small number of particles. Furthermore, by expressing rigid body shapes using a signed distance function, we were able to achieve powder and granular material simulations including complex rigid body models with high shape accuracy and low computational cost. We applied this technology to the simulation of a screw feeder and showed that the conveying amount closely matched the theoretical formula.

1 まえがき

当社製品には粉状やペレット状の材料などを取り扱う製品が多くある。これら製品の設計・開発を行うに当たり、シミュレーションで粉粒体の挙動・流動を予測することは非常に重要な課題である。

粉粒体シミュレーション手法として、粒子動力学法をもとにした手法が提案されている。これを一般的に用いられる粉粒体シミュレーション手法である個別要素法 (DEM: Distinct Element Method) と比較すると、パラメータが少なくさまざまな現象を再現できるわけではないが、計算量が少なく高速に計算することが可能な手法であるといえる。しかし、当社

製品は規模が大きなものがあり、粒子動力学法を用いたとしても計算量・計算時間の観点からシミュレーションでは難しい問題が多くある。

これまで我々はくりこみ群分子動力学 (RMD: Renormalization Molecular Dynamics) 法⁽¹⁾の開発を行ってきた。RMD法は、分子動力学 (MD: Molecular Dynamics) 法にくりこみ変換を適用することで、MD法の利点を継承しつつ少ない粒子数で相似な計算結果が得られる手法であり、これまで弾性解析⁽²⁾・流体解析⁽³⁾・塑性変形⁽⁴⁾や高分子⁽⁵⁾などのシミュレーションに応用されてきた。

そこで、RMD法のくりこみ変換則の考え方をもとに粒子動力学法の粗視化変換則を提案する。さらに剛体形状モデル

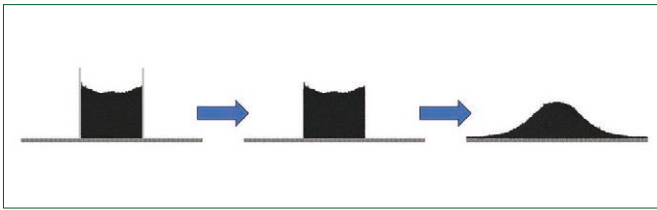


図1 安息角シミュレーション
Angle of repose simulation

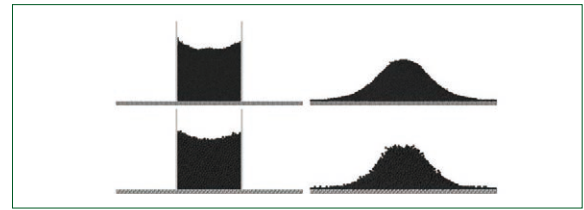


図2 粗視化前後の安息角シミュレーション結果
Simulation results of angle of repose before and after coarse graining

においても、符号付き距離関数(SDF: Signed Distance Function)⁽⁶⁾を用いたモデルを適用することで形状精度を保ちつつ低い計算コストでの計算を可能とした。

2 シミュレーション手法

2.1 粒子動力学法をもとにした粉粒体シミュレーション手法⁽⁷⁾

粉粒体のシミュレーション手法として、粒子動力学法をもとに排除体積効果のための斥力と運動エネルギーの散逸で記述された手法がある。この手法において粒子間相互作用は

$$f_i = \sum_{i \neq j} \left(\frac{\partial \phi_{ij}}{\partial r_{ij}} + \sum_{\beta=n,t} r_{\beta} v_{ij,\beta} \right) \dots \dots \dots (1)$$

の式で表される。第1項がポテンシャルによる斥力項であり、第2項が運動エネルギーの散逸による減衰項である。ここで、 f_i は粒子*i*にかかる力、 ϕ_{ij} と r_{ij} 、 v_{ij} はそれぞれ、粒子*ij*間の相互作用ポテンシャルと距離と相対速度である。また、 γ は減衰係数であり、 γ と v_{ij} の添え字となっている $\beta=n,t$ は粒子*ij*の法線成分と接線成分を表している。相互作用ポテンシャルは

$$\phi_{ij} = \begin{cases} 4\epsilon \left\{ \left(\frac{\sigma}{r_{ij}} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r_{ij}} \right)^6 + \frac{1}{4} \right\}, & |r_{ij}| \leq 2^{\frac{1}{6}}\sigma \\ 0, & |r_{ij}| > 2^{\frac{1}{6}}\sigma \end{cases} \dots \dots \dots (2)$$

である。ここで、 ϵ と σ はそれぞれ斥力の大きさと粒子径を決定するパラメータであり、MD法のLennard-Jonesポテンシャルの斥力部分と同様のかたちとなる。この手法を用いて実機スケールの粉粒体シミュレーションを実施しようとした場合、粒子数が多くなり計算時間を要することがある。

2.2 分子動力学法のくりこみ変換則⁽¹⁾

現実の系が体積 $V=L^3$ 、原子数 N を持つとする。この系にくりこみ群を適用し、相似な系(L' , N')を作る。

$$\begin{aligned} L &\rightarrow L' = L \\ N &\rightarrow N' = \lambda^{-3} N \\ \lambda &= 2^n \end{aligned} \dots \dots \dots (3)$$

n はくりこみ回数である。

くりこみに際し、物理量は次のようになりこまれる。

$$\begin{aligned} m &\rightarrow m' = \lambda^3 m \\ \phi(r) &\rightarrow \phi' = \lambda^3 \phi\left(\frac{r}{\lambda}\right) \end{aligned} \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 m は質量、 ϕ は原子間ポテンシャルである。また、変数は次のようにスケールされる。

$$\begin{aligned} q &\rightarrow q' = q \\ \dot{q} &\rightarrow \dot{q}' = \dot{q} \end{aligned} \dots \dots \dots (5)$$

ここで、 q は座標である。

くりこみ変換によって時間はスケールされない。しかし、時刻間 dt はくりこまれる前の λ 倍に取ることが可能である。

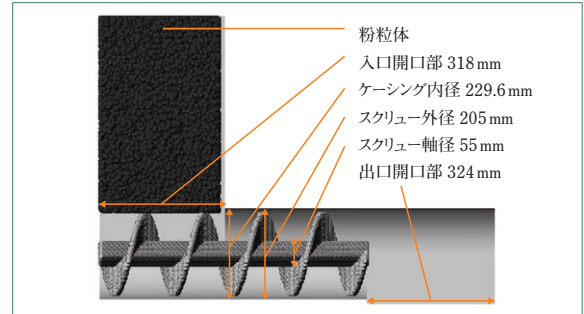


図3 スクリューフィーダ解析モデル
Screw feeder analysis model

2.3 粗視化変換則⁽⁸⁾

くりこみ群分子動力学法のくりこみ変換則を参考に、粒子動力学法での粉粒体シミュレーション手法の粗視化変換則を開発した。質量やポテンシャルなどの粗視化変換則はくりこみ変換則と同様に変換する。さらに、MD法と粒子動力学法による粉粒体シミュレーションとの違いは運動エネルギーの散逸項である。変換前後のポテンシャルによる粒子間相互作用力関係と散逸力の関係が同様になるように

$$\gamma \rightarrow \gamma' = \lambda^2 \gamma \dots \dots \dots (6)$$

とした。この粗視化変換則を用い粗視化前後で相似な結果が得られることを確認する。

3 安息角のシミュレーションによる粗視化変換則の確認

まず、粒子動力学法による粉粒体シミュレーションの粗視化変換則の確認として安息角のシミュレーションを実施した。安息角のシミュレーションは、図1に示すように、底面と側面を壁で囲まれた領域に粉粒体を入れ、緩和計算により安定した状態を初期状態とする。その後、側面の壁を外すと粉粒体が崩れる。崩れた際の粉粒体の分布を粗視化変換の有無で比較する。

粉粒体材料のパラメータは粒径1.350 mm、ヤング率3.096 GPa、真密度1370.0 kg/m³のコークスを想定して、 $\epsilon=9.434 \times 10^{-2}$ J、 $\sigma=1.203 \times 10^{-3}$ mとした。また、減衰係数は法線成分、接線成分ともに $\gamma=1.257 \times 10^{-1}$ kg/sとした。減衰係数を変更することによって安息角を変えることができる。

図2に、粗視化前後でのシミュレーションの可視化結果を示す。粉粒体の分布は、粗視化の前後で相似な結果が得られていることが確認できた。

4 スクリューフィーダへの粗視化の適用

4.1 シミュレーションモデルと条件

本手法を用いてスクリューフィーダへの適用を実施した。

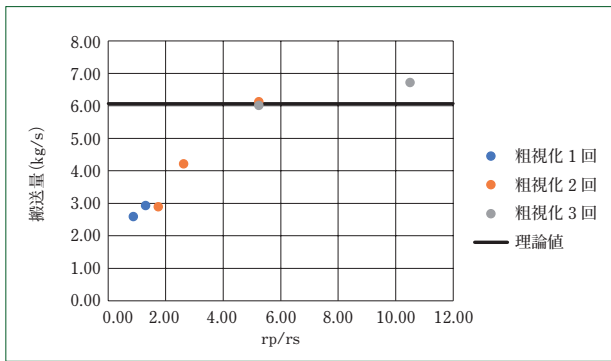


図4 スクリュー粒子と粉粒体粒子の粒径比に対する搬送量
Conveying amount relative to particle size ratio of screw particles to powder and granular material particles

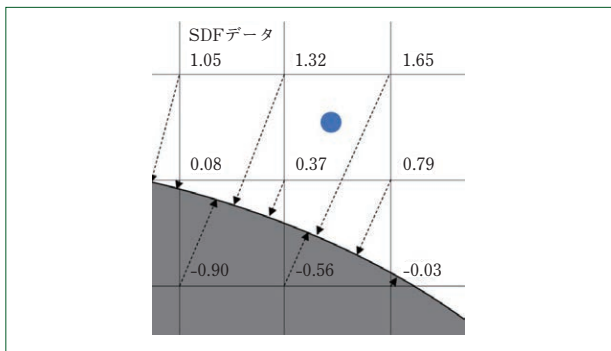


図5 符号付き距離関数
Signed distance function

図3に、シミュレーションモデルの形状を示す。粉粒体粒子は、安息角シミュレーションと同様のコークスを想定した材料とした。スクリーは外径205mm、軸径55mm、ピッチ150mmで4.5ピッチ分の長さとなっている。また、ケーシングは入口開口部318mm、出口開口部324mmとなっており、その間がスクリーと同軸の229.6mmの円筒形状となっている。fcc構造で形状に合うように粒子を配置し剛体モデルとして計算した。ケーシングは複数の面を関数で認識し、粒子と面との間に斥力を与えた。

粗視化の回数は1回、2回、3回と変更し、それに伴いスクリー粒子の粒子径も変更してシミュレーションを実施した。

4.2 シミュレーション結果

図4に、100r/minでスクリーを回転させた際の粗視化後のスクリー粒子径 r_s と粉粒体粒子径 r_p の粒径比に対するスクリーフィーダの搬送量のグラフを示す。プロットが計算結果で黒の実線が搬送量の理論値を示している。搬送量の理論値 Q は

$$Q = a \frac{\pi}{4} (D_s^2 - d_s^2) p_s n_s \rho_p \dots \quad (7)$$

より求められる⁽⁹⁾。このとき a は充填率、 D_s 、 d_s 、 p_s はそれぞれスクリー外径、シャフト外径、ピッチであり、 n_s はスクリーの回転数、 ρ_p は粉粒体の嵩密度である。形状精度と計算量を調整し粉粒体粒子に対してスクリーの分解能を十分に保つことでシミュレーション結果が搬送量の理論値に近い値となることが確認できた。

しかし、シミュレーション対象となるモデル変更に伴い調整が必要となることや、スクリー側の分解能によって粉粒

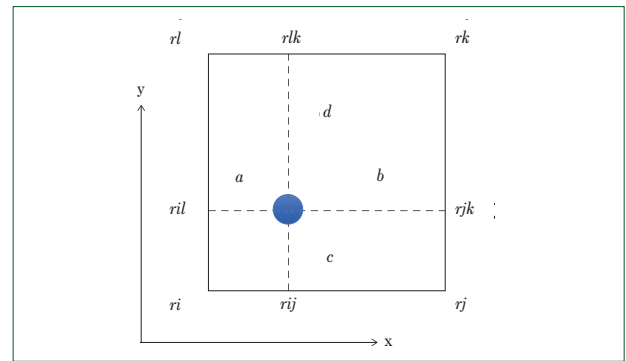


図6 SDFを用いた距離と法線ベクトルの計算
Calculating distance and normal vectors using SDF

体側の分解能を上げられないという問題が生じる。

5 符号付き距離関数SDFを用いた剛体の表現

5.1 符号付き距離関数SDF

粒子を配置した剛体モデルの問題点を解決する方法としてSDFによる剛体表現を用いた。SDFデータは対象の物体を内包する領域をセル分割し、さらに図5に示すように、セル分割したノード点と物体との最短距離に対して外側が正、内側が負の符号を付加したデータである。SDFを用いて任意の点と物体との距離を計算する場合、その点を内包するセルの周りの(2次元であれば4点、3次元であれば8点の)SDF値から線形内挿の計算をすることで求めることが可能である。形状精度はセルサイズによって決定される。形状精度を上げることを目的にセルサイズを小さくした場合、ノード点が増加するのでSDFデータ量も多くなり、計算時に使用するメモリ量は増大する。しかし、任意の点と物体の距離計算は、点が所属するセルのノード点上のSDFデータから内挿計算をするだけであるため、分解能による計算量は変わらない。このSDFを用いることで低計算コストかつ高精度な剛体に計算を行うことができる。

5.2 SDFを用いた粒子剛体間の距離と法線の計算方法

例として2次元の場合の粒子と、SDFを用いた剛体モデル(SDFモデル)との距離と法線ベクトルを計算する方法を示す。

図6に、粒子の所属セル情報を示す。ここで r_i 、 r_j 、 r_l 、 r_k はSDFの値であり a 、 b 、 c 、 d は各辺と粒子の距離を示している。まず、 r_i と r_j の内挿から r_{ij} (r_{ij} で示す点での表面からの距離)を計算すると、

$$r_{ij} = \frac{b \cdot r_i + a \cdot r_j}{a + b} \dots \quad (8)$$

となる。また r_{lk} 、 r_{il} 、 r_{jk} についても同様に計算することができる。粒子とSDFモデルとの距離 R は r_{ij} と r_{lk} もしくは r_{il} と r_{jk} の内挿から求めることができ、式は

$$R = \frac{bd \cdot r_i + ad \cdot r_j + ac \cdot r_k + bc \cdot r_l}{(a+b)(c+d)} \dots \quad (9)$$

となる。

法線ベクトルは r_{ij} と r_{lk} 、 r_{il} と r_{jk} の傾きから求めることができ、式は

$$(n_x, n_y) = \left(\frac{r_{jk} - r_{il}}{a + b}, \frac{r_{lk} - r_{ij}}{c + d} \right) \dots \quad (10)$$

となる。

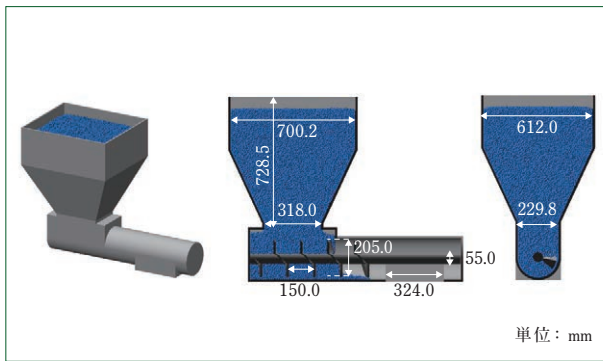


図7 スクリューフィーダ解析モデル
Screw feeder analysis model

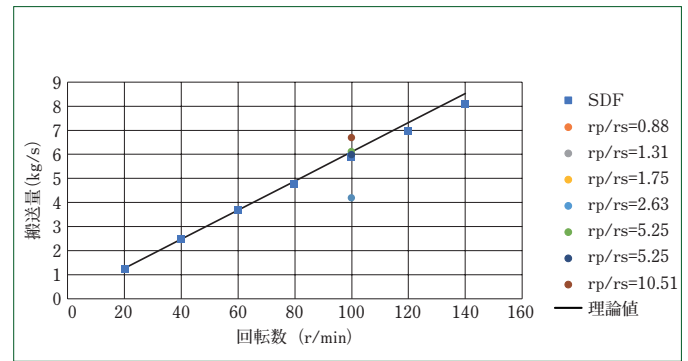


図8 搬送量の結果
Conveyor capacity results

5.3 粉粒体粒子 - SDF剛体間の相互作用モデル

粒子を配置した剛体モデルでは、粉粒体粒子 - 剛体モデル内粒子のポテンシャルを設定し相互作用を計算していた。しかしSDFモデルから得られるのは粉粒体粒子 - SDF剛体間の距離と法線ベクトルのみである。このことから、同様にポテンシャルを設定し相互作用の計算を実施すると剛体表面上で何の抵抗もなく滑ってしまうことが考えられる。そこで粉粒体粒子 - SDF剛体間の相互作用モデルが必要である。

相互作用モデルとして、SDF剛体表面と粒子との相互作用の法線成分 $f_{rp\perp}$ は

$$f_{rp\perp} = -\frac{\partial\phi}{\partial r} - \gamma v_{r\perp} \dots\dots\dots (11)$$

となる。

粉粒体粒子 - SDF剛体間の相互作用は、粉粒体粒子間相互作用と同様にLennard-Jonesポテンシャルの斥力部分と減衰項とする。また、減衰係数 γ は反発係数 e から設定する¹⁰⁾。次に、水平成分は

$$f_{rp\parallel} = -\frac{\mu N}{|v_{r\parallel}|} v_{r\parallel} \dots\dots\dots (12)$$

となり、クーロン摩擦相当の減衰力を与える。ここで、 μ は摩擦係数、 N は垂直抗力である。これにより動摩擦を再現する。

6 スクリューフィーダへのSDFモデルの適用

6.1 スクリューフィーダへのSDFモデルの適用

図7に、スクリューフィーダの計算機実験モデルを示す。スクリューやホッパ・ケーシングについてはSTL(3次元形状データ)からSDFデータを作成した。3回くりこむことで変換後の粉粒体の粒子数を20万粒子とした。粉粒体は初期配置をSTLで指定し、その内部にランダムに粒子を生成し、緩和計算を実施することで初期状態を作成した。これまでのシミュレーションと同様に粉粒体粒子はコークスを想定した材料とした。粉粒体粒子 - SDFモデル間のポテンシャルは粒子同士間のポテンシャルと同様のものを使用した。また、反発係数 e は0.5、摩擦係数 μ は0.413とした。出口開口部から出て落下した粒子は消去する。

6.2 SDFモデルでのシミュレーション結果

搬送量を予測すべくスクリューの回転数を20~140 r/minとし、シミュレーションを実施した。図8に、回転数と搬送量

の関係を示す。丸のプロットが粒子を配置したスクリュー、四角のプロットがSDFモデルでのシミュレーション結果であり、黒の実線は理論値を示している。搬送量の理論値とSDFモデルでの解析結果を比較すると、非常によく一致していることが確認できる。

7 むすび

- (1) 粒子動力学法をもとにした粉粒体シミュレーション手法に対し、RMD法のくりこみ変換則を応用することで粗視化変換則を確立した。
- (2) 安息角のシミュレーションを実施し、粗視化の前後で相似な結果が得られることを確認した。
- (3) 複雑な形状を有するモデルに対し、高い形状精度と低い計算コストでの計算を実現することを目的としてSDFを適用した。
- (4) これらの技術を適用しスクリューフィーダの解析を実施した結果、粗視化した粒子数の少ない系で粒子を配置した剛体モデルのように、粉粒体粒子径と剛体の粒子径の関係を調整することなく理論値とよく一致した搬送量を得られることを確認した。

(参考文献)

- (1) 市嶋大路, シミュレーション方法 シミュレーションプログラム 及びシミュレーション装置, 特開 2016-218767.
- (2) 市嶋大路, 大西良孝, 廣瀬良太, くりこみ群分子動力学法の開発, 住友重機械技報, no.168, 2008.
- (3) 市嶋大路, 廣瀬良太, 大西良孝, くりこみ群分子動力学法による流れの計算機実験, 住友重機械技報, no.173, 2010.
- (4) 大西良孝, 檜垣孝二, 市嶋大路, 廣瀬良太, 小林義崇, くりこみ群分子動力学法による回転塑性加工シミュレーション第3報 塑性加工シミュレータの現場実証, 住友重機械技報, no.186, 2015.
- (5) 小林義崇, 市嶋大路, くりこみ群分子動力学法を用いた高分子シミュレーション, 住友重機械技報, no.194, 2018.
- (6) 茂渡悠介 (2014). 符号付距離関数を用いた離散要素法の壁境界モデルの開発と粉体混合機への応用, 東京大学工学系研究科博士論文.
- (7) 青木圭子, 粉粒体の流動化, 日本物理学会誌, Vol.55(2000)no.1, p.3
- (8) 廣瀬良太, 市嶋大路, 粉粒体のシミュレーション方法及びシミュレーション装置, 特開2017-27217.
- (9) 粉粒体共有装置委員会, 粉粒体の貯槽と供給装置, 日刊工業新聞社, 1963, p.247.
- (10) 和田浩二, 千秋博紀, 松井孝典, 遊・星・人: 日本惑星科学会誌 13(4), 233-240, 2004-12-25.

新型QuaPro-B (0.9~2.5t) の乗車性向上

New QuaPro-B(0.9-2.5t) Improved Rideability

●長 坂 勇 希*
Yuki NAGASAKA



新型 QuaPro-B コックピット部詳細
New QuaPro-B Cockpit details

1 はじめに

昨今の物流現場では、ベテランオペレータが不足気味で、初心者オペレータが増える傾向にある。このことから「疲労軽減につながる最良のコックピットパッケージ」「より安全性を高める装備」といった基本機能の進化に加え「初心者とベテランおのおののオペレータにふさわしい最適仕様」を用意することが重要となる。今回、これらの機能を盛り込んだ新型バッテリー式カウンタバランス型フォークリフトを2023年12月より新型QuaPro-Bとして販売した。本報では、QuaPro-Bの乗車性の向上について「疲労軽減につながる最良のコックピットパッケージ」をテーマに検証し報告する。

2 疲労軽減につながる最良のコックピットパッケージ

2.1 3つの改善で乗車性を向上(図1)

新型QuaPro-Bは次に示す3つの改善により、従来機種(1.5t車)比で20%もの乗車性向上(筋活動量の低減)を達成している。

(1) 乗車時に妨げとなるカバー類の突出部位の排除

ホイールベースの延長およびモータ、バッテリーなど構成部品のレイアウトを見直すことで、バッテリーの位置を従来機種に比べて下げることが可能となった。また、露出していたバッテリーケースをほかのカバーで覆うかたちを採用し、バッテリーの容量に合わせてケースのサイズを変えることが可能となった。従来機種では実現できなかったカバー類の形状最適化により、乗車時に妨げとなる突出部位の排除が実現し、乗車性が向上した。

(2) コックピットまわりの配管レイアウトの見直し

コックピットまわりのチルト配管、ステアリング配管の取り回しを見直し、配管のフロア下配置などを行うことで、前方のヒザ前スペースを確保した。

(3) ヘッドガード形状の見直し・乗車グリップの改善

ヘッドガード形状の見直しにより、乗車時にヒトが移動する範囲の障害物を極力排除し、オペレータそれぞれが自分に適した位置でグリップを握れるようにすることで乗車性を向上させた。

2.2 乗車性向上の検証(図2)

今回、向上した乗車性を数値化し検証すべく、株式会社テラバイトの協力のもと、3次元動作解析装置で取得したデータを用いてAnyBody Modeling System(AnyBody Technology社)による筋骨格モデル解析を行い、得られた各種データの検証を行った。

(1) 計測方法

被験者は、3次元動作計測用スーツ(MoCapスーツ)を着用し、身体に44個の赤外線反射マーカーを貼付する。これを3次元動作解析装置で追跡することで「ヒトの姿勢」を計測した。

(2) 計測対象

次の2機種を対象として計測を行った。

- ・ 新型QuaPro-B 1.5t車
- ・ 従来機種 1.5t車

(3) AnyBody Modeling Systemによるデータ解析

① 逆運動学解析(姿勢の推定)

計測されたマーカー位置に一致するようにAnyBody Modeling Systemによる逆運動学解析を行い、筋骨格モデルの姿勢を推定した。

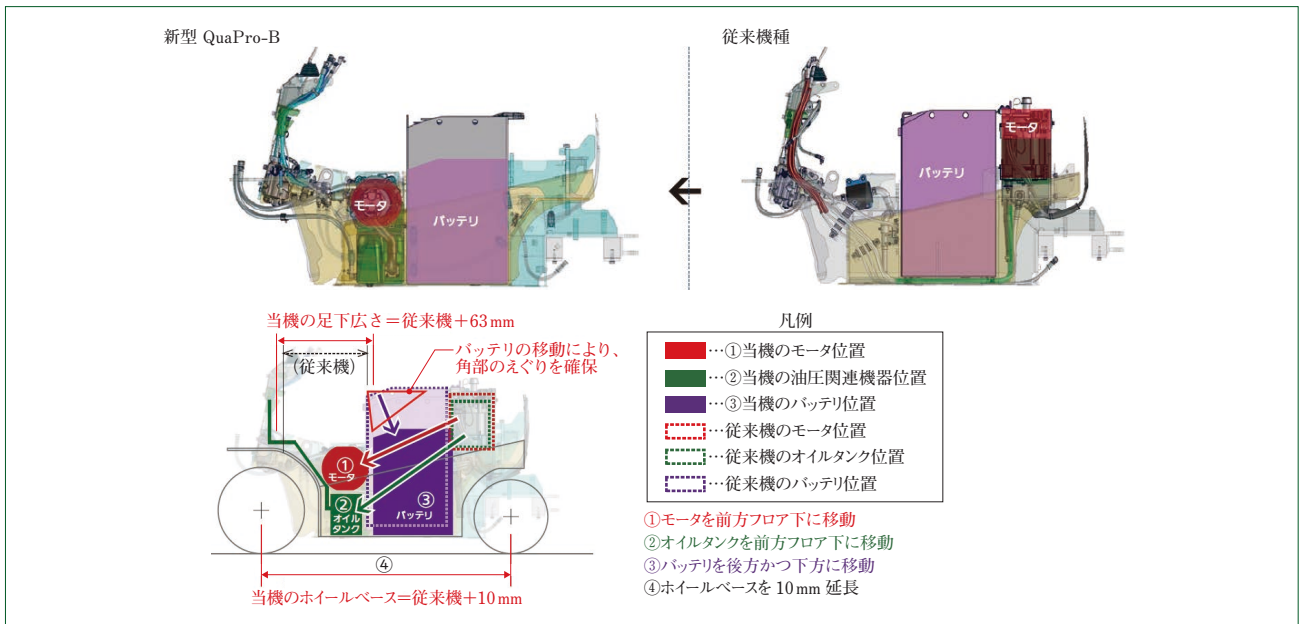


図1 乗車性の改善
Improved riding comfort

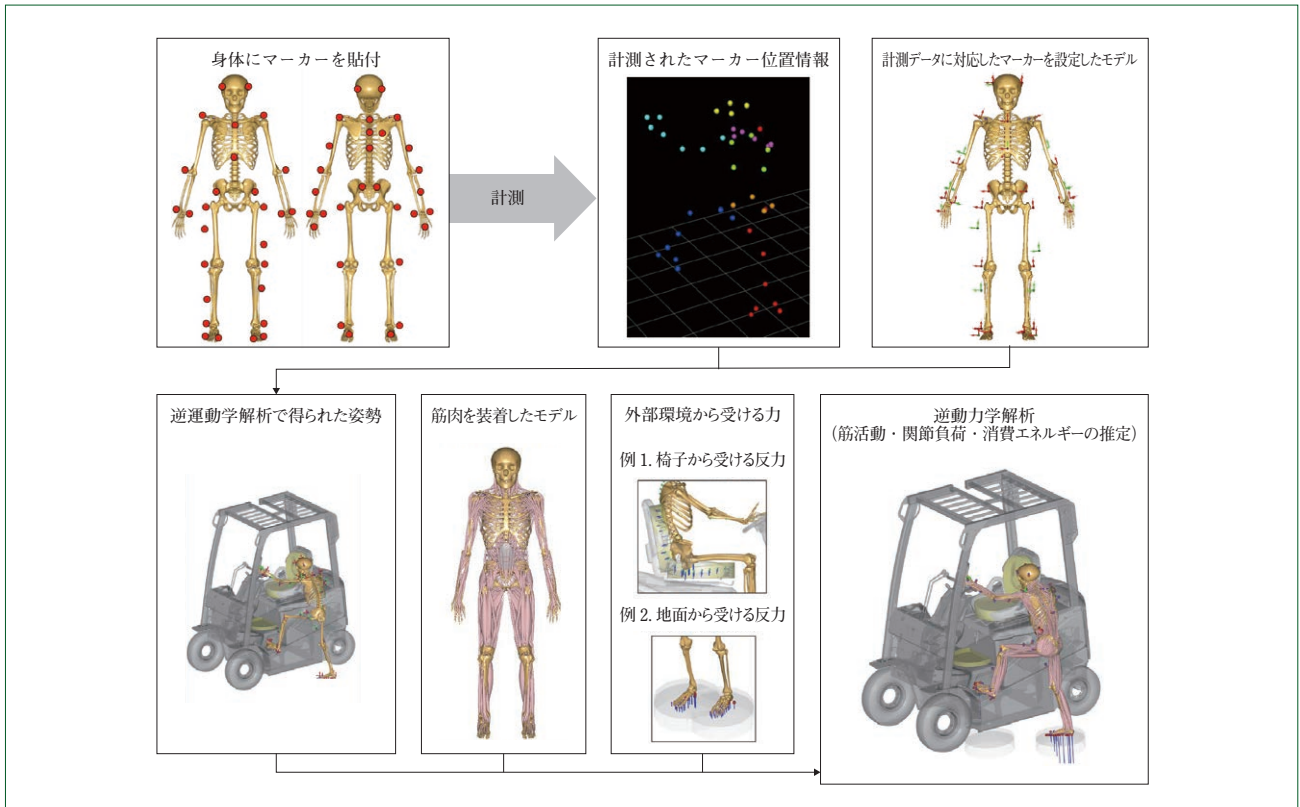


図2 測定 - 解析の流れ
Measurement-analysis flow

② ヒトのモデル化

AnyBody Model Repositoryで用意されている上肢モデル、下肢モデルおよび腰部モデルを組み合わせ、ヒトの筋骨格系をモデル化した。

③ 外部環境のモデル化

ヒトと外部環境（地面、フォークリフト）間の力の相互作用は次に示す要素でモデル化した。

- ・足と地面、ステップ、フロア間に作用する力の推定

要素

- ・腕と乗車グリップ、ひじ掛け間に作用する力の推定
- 要素

- ・体とシート座面、背面間に作用する力の推定要素

これら逆運動学解析で得られた姿勢とヒトの筋骨格のモデル化情報、外部環境から身体が受ける力を加味したうえで、逆運動学解析により筋肉と関節にかかる力を推定した。

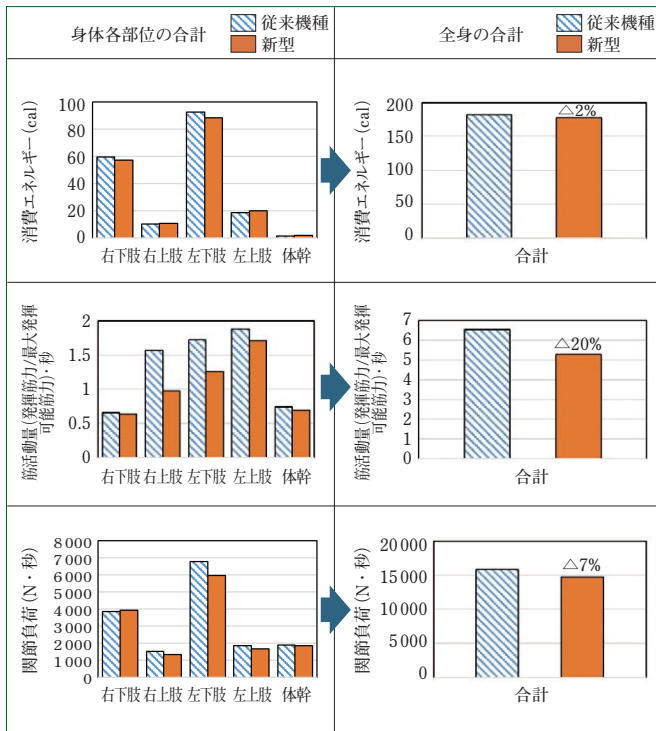


図3 解析結果比較
Comparison of analysis results

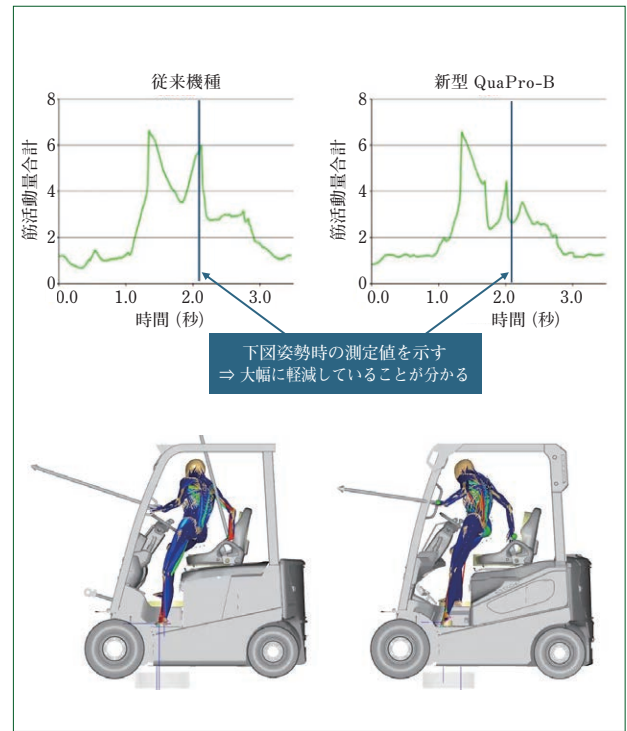


図4 乗車時の筋活動量比較
Comparison of muscle activity during riding

(4) 定量的評価指標

① 動作の所要時間および重心の総移動距離

左足がステップについた瞬間を動作開始、シートに着座した瞬間を動作終了とした。また、その際に移動した重心の距離を算出した。

② エネルギー消費量

体幹、右上肢、左上肢、右下肢、左下肢の5つの部位の筋肉が動作中に消費したエネルギーを算出した。

③ 筋肉の筋活動量

筋骨格モデルに含まれる全88カ所の筋肉の活動量を算出した。算出した各筋活動量のなかで、理学療法士の知見と身体運動学の分野で公開されている学術情報をもとに乗車性に大きく関係する筋肉をピックアップした。

④ 関節負荷

身体の各関節に加わる関節負荷(圧迫力)を算出した。

これらエネルギー消費量、筋活動量、関節負荷は動作開始から終了までの区間の積分値で評価した。

(5) 解析の結果

データ解析により、従来機種比で次の結果が得られた。

① 乗車時に妨げとなるカバー類の突出部位を極力排除することで、乗車時の時間および移動距離を削減した。

② 消費エネルギー：2%減少(図3 上)

動作所要時間および重心移動距離が減少したことで、動作遂行に必要な消費エネルギーが減少した。

③ 筋肉の筋活動量：20%減少(図3 中)

乗車時に妨げとなるカバー類の突出部位を極力排除したことや機器の最適配置、形状の見直しにより、乗

車性に大きく関係する筋肉の筋活動量を低減させた(図4)。

④ 関節負荷：7%減少(図3 下)

筋活動量が高くなるほど、関節負荷は増大するため、動作遂行に要求される筋活動量を低下させることで関節負荷が減少した。関節負荷が軽減された身体部位における関節症などの労働災害リスクが低減されれば、労働災害に起因する生産性の低下を抑制できる可能性がある。

3 おわりに

本報では、新型QuaPro-Bの乗車性の向上およびその検証について述べた。

(1) AnyBody Modeling Systemによる筋骨格モデル解析により乗車性向上を数値化し検証した。

(2) 乗車時に妨げとなるカバー類の改善や機器、配管レイアウトおよびヘッドガード形状などの見直しにより乗車性に大きく関係する筋肉の筋活動量を20%低減した。

(3) 今回の検証を今後の開発において活用すべく、条件や試行回数などのさらなる検証を実施し、将来的には自社で測定から評価まで行えるようシステムを整える必要があると考える。

※「QUAPRO」は、住友ナコフォークリフト株式会社の登録商標です。

製品保管用マジックラック

MagicRack for Product Storage



住友重機械搬送システム株式会社は、家庭用園芸散水メーカーの新工場向けに、製品保管用マジックラックシステムを納入した。このメーカーでは、新工場は東日本で初の生産拠点となり、生産拠点の分散による事業継続力の強化のみならず生産能力の増強を図り、配送動線の見直しによる温室効果ガスの削減を行う。

本システムは、パレタイザを介して複数の生産ラインとマジックラックが直結する設備構成とし、製品の完全無人自動入庫を実現した。また、本工場生産品に限らず、海外を含む他工場からの横持ち製品も保管・管理し、配送センターとしての機能も有している。

主要仕様

マジックラック (5段)	2070 棚
マジックドローリー&マジックカー	5 台
マジックリフター	2 台
パレットコンベヤ	20 台
ケースコンベヤ	14 台
全自動ランダムサイズ対応封函機	1 台
パレタイザ	1 台

パレットサイズは、物流業界で広く使用されている L1100 × W1100(mm) に対応する。

特 長

- (1) 複数の生産ラインから混流する製品ケースは、ランダムサイズ対応封函機によって、最小サイズ L480 × W360 × H275(mm) から最大サイズ L850 × W610 ×

H796(mm) まで作業員による段取り替えなしに連続自動封函が可能である。

- (2) パレタイザは、4 ラインからの混在する製品ケースを品種ごとに仕分けながら複数パレットへ積み付ける。メーカーの物流管理システムおよび生産管理システムと連携し、受信した生産予定情報と 2 次元コードを照合することで、同一パレットへの混載防止など在庫管理精度の向上に貢献している。
- (3) 本設備は、ランダムに搬送される広範囲の製品ケースサイズに対応しながら、1 時間当たり 312 ケースの封函・積み付け・マジックラック格納が可能な高性能を実現している。
- (4) 製品を積み付ける空パレットは、段積み状態でマジックラックに保管しており、必要に応じてパレタイザ部へ自動供給する。
- (5) 封函機部では製品ケース上下面の OPP テープ貼付け不良品を、パレタイザ部では 2 次元コードノーマード品や生産予定外品を、リジェクトラインへ自動排出する。
- (6) マジックラックは、建屋の吹き抜けエリアに設置することで、1 階の入出荷エリアと 2 階ピッキングエリアの同時入出庫を可能にしている。

本システムの導入によって、搬送・保管の自動化を実現し、本工場の省人化・省力化および作業性向上に大きく寄与している。

※「マジックラック」「マジックドローリー」「マジックカー」および「マジックリフター」は、住友重機械搬送システム株式会社の登録商標です。

(住友重機械搬送システム株式会社 對馬 朗)

大型配送センター向けGTPシステム

GTP Systems for Large Distribution Center

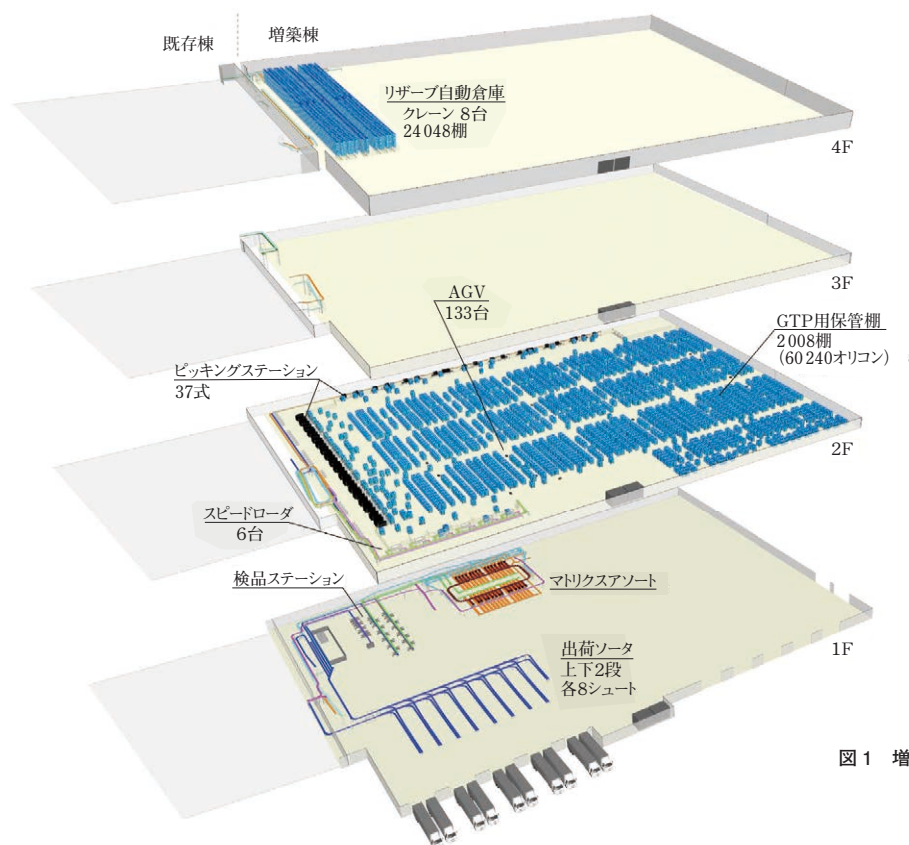


図1 増築棟鳥瞰図

住友重機械搬送システム株式会社は、通信販売会社の大型配送センター増築に伴い、高度なピッキングを実現するGTP (Goods To Person) システムを納入した。既存棟に納入済みの住友重機械搬送システム製マテハンシステムとの連携によって既存棟の運用を最大限に生かしつつ、増築棟(図1)ではGTPシステムを用いて高い自動化レベルと作業効率の向上を実現している。

増築棟では、初めて導入したGTPシステムのほかにマトリクスアソートや自動倉庫などを増設した。既存棟と増築棟を一括管理する情報管理システムにより、相互の在庫移動が自由に行えることで1つの倉庫としての運用を可能にしている。今まで外部倉庫に保管していた在庫もすべて本配送センターに取り込むことで、外部倉庫費用および横持ち費用の削減を実現した。

GTP システムの特長

- (1) 増築棟には出荷頻度が高いランクの商品を保管する。増築棟に搬送された高ランク商品は、スピードローダ(図2)によりオリコン(折りたたみが可能なコンテナボックス)ごとにGTP用保管棚に自動で入庫される。従来のGTPシステムで行われていた人手による棚入れ作業がなくな

り、入庫の完全無人化を実現している。

スピードローダは一般的なケースハンドリングロボットとは異なり、コンベヤおよびオリコンの抜き差し機構を備えた昇降台により、一度に3箱のオリコンを入出庫する高い処理能力を有する。また、入庫時は重量の重いオリコンを優先して下段に入庫することで、後工程のピッキング作業の負荷を軽減している。

GTP用保管棚の搬送はAGV(図3)が行うが、スピードローダとの取合い位置にはフローティング装置を設置し、AGVの停止精度によって発生するGTP用保管棚の位置ズレを矯正する。

- (2) GTPシステムでは、AGVが出荷指示された商品を保管するGTP用保管棚をピッキングステーション(図4)に自動搬送する。作業者は歩くことなくピッキング作業が行えることから、作業負荷軽減と作業効率の向上を実現している。

ピッキング作業には視認性の高いLEDピッキングシステムを採用しており、LEDランプと表示器によってピッキングするオリコンとピッキング点数を指示することで、作業者のピッキングミスを削減している。ピッキングした商品は顧客単位で隣の出荷梱包ステーションに



図2 スピードローダ



図4 ピッキングステーション



図3 AGVとGTP用保管棚

運ばれ、出荷箱に詰め替えられて出荷ソータへ搬送される。後工程も同一エリアで完結しているので、出荷リードタイムが大幅に改善され、当日出荷点数の増大への対応を実現した。

- (3) GTP システム内では、デフラグ機能によって出荷点数が減少したランク落ち商品や商品残数が少なくなったオリコンは、スピードローダにより夜間に自動倉庫へ自動で移動される。これにより GTP システム内の在庫は常に最適化され、高い作業効率を維持し続ける。

増設設備の特長

- (1) マトリクスアソート(図1)は、ピース品の仕分けを高速で行うソータと顧客単位でオリコンに仕分けする自動投入機からなる設備であり、1台当たり300顧客分の仕分け作業を短時間で行うことができる。今回の増設によって配送センターのマトリクスアソートは計3台になり、900顧客分の同時仕分け作業が可能になった。複数注文された商品の在庫が既存棟と増築棟に分かれている場合でも、それらの商品は同一マトリクスアソートに搬送されて注文単位に仕分けられる。

また近年、注文単位での商品点数が増加したことによ

り、既存棟マトリクスアソートのパッファ機能が不足していた。これを踏まえて、増築棟マトリクスアソートではオリコンを段積みしてパッファする機能を新たに導入し、設備スペースの削減とパッファ機能の改善を両立した。既存棟マトリクスアソートへのオリコン供給は、既存棟と増築棟のすべての自動倉庫を連携させ、出庫するタイミングをブロックごとに管理することで、搬送時間が異なる自動倉庫からの供給を詰まりなく搬送できるシステムに改善した。

- (2) 新たに増設したリザーブ自動倉庫には GTP システムの対象商品を保管し、在庫減少に応じて随時補充を行う GTP システムの運用により、十分な在庫量を確保している。

配送センターの増築に当たり、新たなシステムを導入しセンター全体の高い自動化レベルと作業効率の向上を実現した。増築棟には設備増設スペースが確保されており、将来の増設を見据えて設備やその運用が計画されている。

※「マトリクスアソート」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

(住友重機械搬送システム株式会社 豊岡 諭)

宅配水メーカー向け高速マジックラック

High Speed MagicRack for Delivery Water Manufacturer

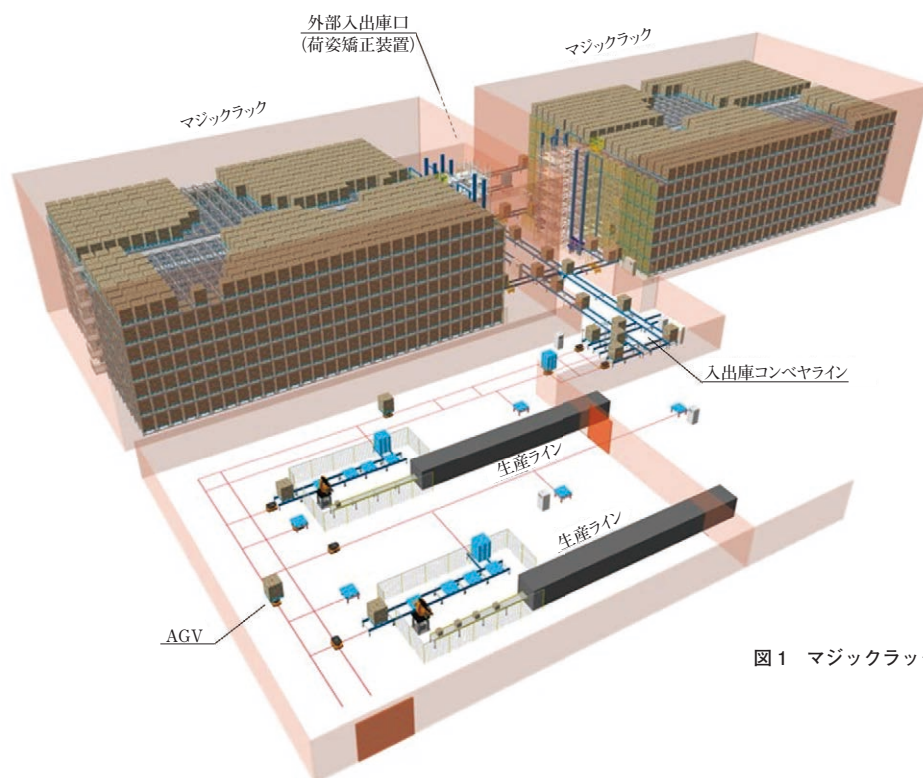


図1 マジックラックシステム鳥瞰図

住友重機械搬送システム株式会社は、大手宅配水メーカーが生産量・流通量の増加に伴って増築した工場に、高密度保管を特長とするマジックラックシステムを納入した(図1)。このメーカーでは「安定的な生産体制の構築」と「継続的なサービスの提供」を方針とし、最適な自動化と省力化を推進している。さらに、工場におけるトラック待機時間や荷積み時間を短縮するなどのホワイト物流に対する取組みも積極的に行っている。住友重機械搬送システムは、入出庫能力が高い高速マジックラックとこれに連携するAGVの導入により、この宅配水メーカーの方針に基づく取組みに貢献している。高速マジックラックは、入出庫サイクルタイムの短縮を目的として新たに開発しラインナップした初号機である。AGVは高速マジックラックと生産ラインの間で資材パレット、製品パレット、空パレットの自動搬送を行う。

主要仕様

マジックラック(7段)	8240棚(2ユニット)
マジックドローリー&マジックカー	14台
マジックリフター	4台(シングルリフター2台、ツインリフター2台)
AGV	13台
コンベヤ	97台
荷姿矯正装置	1台

特長

(1) 高速マジックラック

高速マジックラックでは、マジックドローリーにコンベヤを搭載している。従来のタイプでは、マジックラック各段に設置する入出庫ステーションコンベヤとのパレット受渡しをマジックカーによる往復走行動作で行っていたが、高速タイプではコンベヤ搬送にすることで、パレット移載時間を1/4の約7秒に短縮している。

(2) マジックリフター(ツインリフター)

ツインリフターは、2パレット同時に搬送することが可能なりフターである。2パレットの搬送元と搬送先が同じ段であれば、搬送能力は単純にシングルリフターの2倍になる。本マジックラックシステムでは、出荷時間帯の最大出庫能力を達成すべく出庫用にツインリフターを採用している。そして物流管理システムは、マジックラックの各段からの出庫に対し、搬送先が同一となる2件の出庫を連続して指示するロジックによってマジックリフターの能力を最大化し、システム全体で320PL/h(PL:パレット)の高い出庫能力を実現している。

(3) 荷姿矯正装置(図3)

トラックで輸送されてきた資材や段積み空パレットは、大きく荷ズレを起こしていることがあり、従来は自



図2 ツインリフター



図3 荷姿矯正装置



図4 AGV

動倉庫に入庫する前に人手による手直しが必要なことが多かった。また、荷ズレを防止する目的でストレッチフィルムなどで固縛されている荷も多い。本機は、パレット上の荷を左右・前後方向からクランプ板で挟み込むことで荷ズレを矯正する装置である。作業者は荷ズレの修正作業がなくなるだけでなく、荷ズレを意識することなく入庫作業が行えることから、省力化と作業効率化を実現している。また、荷ズレの防止にストレッチフィルムを使用する必要がなくなり、SDGsの観点から環境負荷軽減に貢献するとともに、フィルムを剥がす作業が不要となることで資材の生産ラインへの自動投入が容易になった。

(4) AGV (図4)

製品・資材パレットはAGVにより生産設備に供給されることで、作業によるパレット搬送作業がなくなり省力化が実現している。また、AGVの走行速度を作業者との協働可能速度に抑え、衝突防止センサおよび走行方向表示ライトなどの安全装置を搭載することにより、安全で広い作業スペースを確保している。

(5) 入出庫優先機能

生産ラインの安定稼働を最優先とし、物流管理システムの入出庫優先機能と生産ライン側バッファ数管理によって生産ライン側での入出庫に遅延が発生しないように制御している。

(6) 入出庫能力の均等化

システム全体の能力を最大限に発揮させるには、マジックラック各段の稼働率が均等になることが理想である。また、製品の出庫では出庫時間の偏りが1トラック分の出庫リードタイムに大きく影響してしまう。そこで、入庫時にパレットをマジックラックの各段に均等に、なおかつ棚の近傍/遠方を交互に入庫しておくことで、出庫時には同一ロットのパレットで各段からの出庫パレット数と出庫合計時間の均等化が可能になり、システム全体として入出庫能力の均等化を実現している。

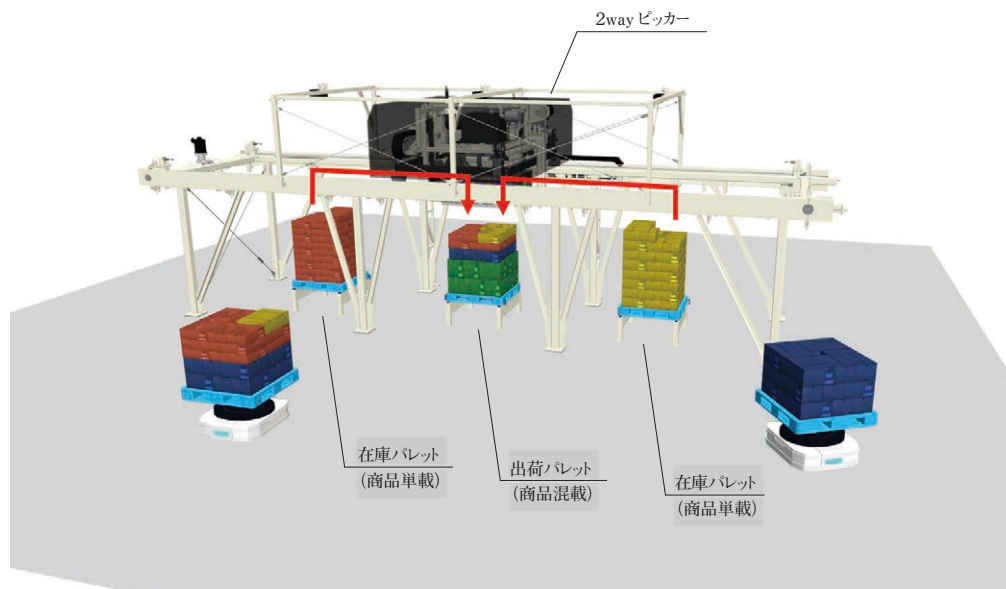
本システムでは、新たにラインナップした高速マジックラックとツインリフターの採用により、客先の高い要求レベル(入庫 97 PL/h, 出庫 320 PL/h)を実現した。また、マジックラックシステムと生産設備間の搬送にAGVを採用し、固定設備を減らすことで将来の生産設備の増設やレイアウトの変更などに柔軟に対応できる設備構成としている。

※「マジックラック」「マジックドリー」「マジックカー」および「マジックリフター」は、住友重機械搬送システム株式会社の登録商標です。

(住友重機械搬送システム株式会社 鷲尾 泰佑)

2 way ピッカー

2 way-Case Picking and Assortment Machine



労働力不足の問題は年々深刻度を増しており、荷役・運搬などの重労働を伴う製造業や物流業において省人化・省力化は喫緊の課題である。住友重機械搬送システム株式会社は、そのなかで特に重量が重く負荷が高い飲料や食品などのケースピッキングおよび荷ぞろえ作業を自動化する2wayピッカーを開発した。

現在、パレットに積み付けられたケースをピッキングする自動機械は、ケース単位でピッキングするアーム型ロボットやガントリー型移載装置が一般的で、このほかに層単位でピッキングするガントリー型移載装置が存在する。2wayピッカーは、住友重機械搬送システム独自のエア吸着方式によって、1層の中から必要なケース数(1ケースから1層全体まで)を同時にピッキングすることが可能な装置である。

特 長

(1) 層ピッキング/端数ケースピッキングの両用装置

ケースハンドリング部は、独立した複数の吸着ユニットを配列して、パレットサイズの吸着面を構成している。ピッキングするケースに対応した吸着ユニットを切り替えて使用することで、層ピッキングと端数ケースピッキングの両用(2way)を実現した。

(2) ケースダメージの軽減

独立した吸着ユニットにより、ケース上面への均等で確実な吸着を可能にし、安定したハンドリングとケースダメージの軽減を実現した。また、重量ケースや層のピッキングでは、吸着と側面クランプを併用することが多く、クランプによってケースに発生する圧痕が問題に

なっているが、上面吸着のみの2wayピッカーでは、その心配が不要である。

(3) 高処理能力

2wayピッカーは、移載動作経路と速度パターンの最適化により200回/hの移載が可能である。同時ピッキングするケース数が平均5ケースの場合、1000ケース/hという高いピッキング処理能力が実現できる。このように、複数ケース同時または層単位のピッキング比率が高いほど処理能力は向上することから、飲料業界などの大ロット生産・大量出荷を行う工場やその配送拠点に有効な装置といえる。

(4) 最適積付けロジック

移載回数が能力に大きく影響することから、配送先ごとの移載回数が最小となるケース積付けロジックプログラムを開発し、制御コントローラに搭載した。在庫パレットは、このプログラムで導出したケース積付け順に基づいて2wayピッカーへ供給される。

(5) 省スペース

2wayピッカーの駆動機構は、デッドスペースが少ないガントリー型とした。また、2wayピッカーが有する高処理能力により、従来装置と比較して装置台数が削減され、省スペース化の実現が可能である。

今回開発した2wayピッカーは、2024年9月に開催された国際総合物流展に出品した。そこで得られた顧客の評価と要望を踏まえ、機能拡充と物流現場の作業環境改善に向けた開発を継続していく。

(住友重機械搬送システム株式会社 金子 淳)

主要営業品目

メカトロニクス

- ギヤモータ:サイクロ減速機, ハイポニック減速機, アステロギヤモータ
- 大型ギヤボックス:パラマックス減速機, 特定用途向け減速機, カップリング
- 精密制御用減速機: 精密制御用サイクロ減速機, 精密制御用Eサイクロ減速機, サーボモータ用遊星歯車減速機 IBシリーズ
- モータ・インバータ:インバータ, Lafert/Invertek
- ドライブソリューション: AGV/AMR用ドライブソリューション Smartris
- 自律移動ロボット: KeiganALI
- 精密位置決め装置: SA/SL Series 小型サーフェイスステージ, TL Series スタック型リニアガイドステージ
- レーザ関連装置
- 制御システム: Roll to Roll 搬送装置向け駆動制御システム
- モーションコンポーネント: 高性能モーションコントローラ MG78, 高精度サーボドライバ SDLN/SDPH, コアレスリニアモータ SM/SL/SSL, エアアクチュエータ Airsonic 50N
- 協働ロボット

サイクロ, サイクロ減速機, ハイポニック減速機, アステロ, パラマックス, Smartris, AIRSONICは, 住友重機械工業株式会社の登録商標です。

インダストリアル マシナリー

- 射出成形機: Zero-molding, ダイレクトドライブシステム
- 封止プレス
- 極低温冷凍機: GM 冷凍機, パルスチューブ冷凍機, GM-JT 冷凍機, ソルバイ冷凍機
- クライオポンプ

- イオン注入装置
- PET用サイクロトロンシステム
- PET用薬剤合成システム
- 陽子線治療システム
- 真空成膜装置
- 鍛造プレス
- STAF (Steel Tube Air Forming)
- リフティングマグネット
- 非破壊検査
- スピニングマシン
- クリーンルームシステム
- 集塵装置: 新型パルス式バグフィルタ エコバルサー
- 圧延用ロール
- 平面研削盤: CNC 門形平面研削盤 KSL Series, CNC 門形平面研削盤 KSL-F Series, 立軸円テーブル形平面研削盤 SVR Series, 立軸円テーブル形平面研削盤 SPG Series
- クーラント処理装置
- ラミネータ装置: コンバイニングアダプター, SPS7000 オートTダイ, コンピュータコントロールシステム MACS-Win

Zero-molding, STAFは, 住友重機械工業株式会社の登録商標です。
エコバルサーは, 日本スピンドル製造株式会社の登録商標です。

ロジスティックス&コンストラクション

- 油圧ショベル
- 道路機械
- クローラクレーン
- 基礎工事用機械(アースドリル, 地盤改良機など)
- 運搬荷役機械: 連続式アンローダ(パケットエレベータ型)
- 物流システム
- 機械式駐車場
- フォークリフト

エネルギー&ライフライン

- 循環流動層 (CFB) ボイラ
- バブリング流動床 (BFB) ボイラ
- 液化空気エネルギー貯蔵 (LAES)
- ロータリーキルン式再資源化設備
- 電気集じん機
- 灰処理設備
- 蒸発・晶析装置
- 流動床ガス化炉: 空気式/酸素-蒸気式
- 廃熱ボイラ
- 廃棄物発電プラント
- CFB スクラバ
- バグフィルタ式排ガス処理装置
- 排煙脱硝装置(選択接触還元法/無触媒脱硝法)
- デジタルサービス(プラント運用支援システム)
- 産業排水処理施設
- 下水処理施設: メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置ミクラス
- 蒸気タービン
- プロセスポンプ
- 蒸留・抽出設備
- 反応容器
- 攪拌槽
- コークス炉機械
- 食品・飲料製造設備
- オイルタンカー

ミクラスは, 住友重機械エンパイロメント株式会社の登録商標です。

※文章中のソフトウェア等の商標表示は, 省略しております。

事業所

本社	〒141-6025	東京都品川区大崎2丁目1番1号(ThinkPark Tower)	技術研究所	〒237-8555	神奈川県横須賀市夏島町19番地
関西支社	〒530-0005	大阪市北区中之島2丁目3番33号(大阪三井物産ビル)	技術研究所	〒792-8588	愛媛県新居浜市惣開町5番2号(新居浜)
中部支社	〒461-0005	名古屋市東区東桜1丁目10番24号(栄大野ビル)			
九州支社	〒812-0025	福岡市博多区店屋町8番30号(博多フコク生命ビル)			
田無製造所	〒188-8585	東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号			
千葉製造所	〒263-0001	千葉市稲毛区長沼原町731番1号			
横須賀製造所	〒237-8555	神奈川県横須賀市夏島町19番地			
名古屋製造所	〒474-8501	愛知県大府市朝日町6丁目1番地			
岡山製造所	〒713-8501	岡山県倉敷市玉島乙島8230番地			
愛媛製造所					
新居浜工場	〒792-8588	愛媛県新居浜市惣開町5番2号			
西条工場	〒799-1393	愛媛県西条市今在家1501番地			

本号に関するお問い合わせは, 技術本部技報編集事務局(電話番号は下記)宛お願い致します。

住友重機械工業株式会社のホームページ <https://www.shi.co.jp/>

技報編集委員

委員	鈴木 哲史	委員	阿部 昌博
	篠崎 琴美		白澤 克年
	廣田 真人		野口 真人
	井上 千晶		中川 崇
	梶谷 純平		田中 哲平
	針ヶ谷 崇		坂根 剛
	有吉 政博		石倉 武久
	石川 賢治		志摩 孝洋
	諏訪 義和		前野 亮一
	幾島 悠喜	事務局	技術本部
	永易 卓也	編集協力	(株)千代田プランニング

住友重機械技報

第214号 非売品
2024年10月10日印刷 10月20日発行
住友重機械工業株式会社
〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号(ThinkPark Tower)
お問い合わせ電話 横須賀 046-869-2300
千々岩敏彦



住友重機械工業株式会社
Sumitomo Heavy Industries, Ltd.



Printed in Japan