

遠隔自動トランスファークレーンとシャーシ間の 半自動荷役技術の開発

Development of Semi-Automated Cargo Handling Technology between Remote-Controlled Transfer Cranes and Chassis

○正 星島 一輝^{*1}, 内海 隆介^{*2}

Kazuteru HOSHISHIMA^{*1}, Ryusuke UTSUMI^{*2}

^{*1*} 株式会社三井 E&S MITSUI E&S Co., Ltd.

In recent years, the introduction of remote and autonomous driving technologies has advanced in port container logistics to improve working conditions, stabilize operations, and enhance safety. Among them, the automations of transfer cranes that load and unload containers in storage yards has become a key element in realizing smart ports. Automated Rubber Tired Gantry Crane (ARTG) are gaining traction for their flexibility and operational advantages. However, container handover with manned chassis remains a challenge, as it requires remote operators to perform precise positioning (± 50 mm) under safety constraints, accounting for 30–40% of the handling cycle time and contributing to variability in efficiency. To address this, this study investigates the feasibility of semi-automated handling under remote safety supervision. By integrating a single 3D-LiDAR sensor on an ARTG to measure chassis position and orientation, and applying micro-motion control for fine alignment, the system enables automated container gripping and placement. Comparative experiments between semi-automatic and manual remote operations demonstrate the effectiveness of the proposed approach in reducing handling time and operator workload.

Key Words : Remote-controlled RTG, Semi-automated handling, 3D-LiDAR sensing, Micromotion control, Container terminal automation, Chassis position detection, Handling efficiency

1. 結 言

近年、港湾コンテナ物流の分野では、作業環境の改善、業務効率の安定化、安全性の向上を目的として、遠隔運転や自動運転技術の導入が進んでいる。特に、蔵置ヤード内でシャーシとのコンテナの積み下ろしを担うトランスファークレーン（門型クレーン）の遠隔自動運転化は、スマート港湾の実現に向けた重要な技術要素の一つである。従来はレール走行型の ASC（Automated Stacking Crane）が主に使用されてきたが、近年ではゴムタイヤ式の RTG（Rubber Tired Gantry Crane）を遠隔自動化した ARTG（Automated RTG）が、運用の柔軟性と利便性の高さから普及が進んでいる。

ARTG による荷役作業のうち、シャーシとのコンテナ受け渡しは、有人シャーシとの安全確認のため、遠隔操作卓（ROC）からオペレータが操作する必要がある⁽¹⁾。この遠隔操作では、複数のカメラ映像を確認しながら、 ± 50 mm の精度で揺れる吊具・コンテナを位置決めする必要があり、オペレータにとって大きな負担となっている。結果として、荷役サイクル全体の 3~4 割をこの作業が占め、作業時間の変動も大きく、荷役効率の安定化における課題である。また、港湾労働環境の厳しさも深刻な課題である⁽²⁾。

本研究では、遠隔オペレータによる安全監視の下で、ARTG が自動でコンテナの把持および着床を行う半自動荷役方式の実現性を検証することを目的とする。具体的には、ARTG に 3D-LiDAR センサを 1 台追加し、シャーシの位置・姿勢を計測した上で、吊具・コンテナの位置調整機能（マイクロモーション）を適用することで、自動で位置合わせを行い、荷役作業の効率化とオペレータの負荷軽減を図る。

^{*1} 正員, 株式会社三井 E&S 物流システム事業部 (〒870-0395 大分県大分市日吉原 3 番地)

^{*2} 株式会社三井 E&S 物流システム事業部 (〒870-0395 大分県大分市日吉原 3 番地)

E-mail of corresponding author: hoshi@mes.co.jp

2. システムの概要

図1に、ARTGの概略図と、本研究で新たに搭載した3D-LiDARの設置位置を示す。搭載した3D-LiDARは、2D-LiDARを走査することで三次元データを取得するセンサであり、脚部上部に設置することで、シャーシからの反射点を三次元データとして取得可能である。その仕様を表1に示す。また、マイクロモーション機能の概要を示す構成図を図2に示す。中央部の巻取ドラムが主巻動作を担い、4系統のジャッキ操作により表2に示す仕様のマイクロモーション動作が可能となっている。

ARTGによるシャーシとの半自動荷役を円滑に行うためには、巻き下げられる吊具・コンテナの位置・姿勢と、シャーシの位置・姿勢を高精度で一致させる必要がある。しかし、吊具・コンテナの位置・姿勢は、地面の傾斜やコンテナ重量の変化などにより変動し、シャーシ側も有人運転による停止位置の変動が生じるため、固定された決め打ちの位置合せでは、荷役が困難である。シャーシの停止精度向上の手法として、地面にタグを埋設し、センサで位置を検出する方法³⁾が提案されているが、走行路面全体に対するセンサ埋設工事が必要であり、導入コストが負担となっている。

これらの課題に対し、本研究ではARTG側でシャーシの位置・姿勢を計測し、それに応じて吊具・コンテナの位置・姿勢を調整することで、コンテナの把持および着床を可能とする方式を指向した。構築するシステムの運用フローを図3に示す。黄色背景、強調文字で示した工程で位置・姿勢計測、調整を行っている。

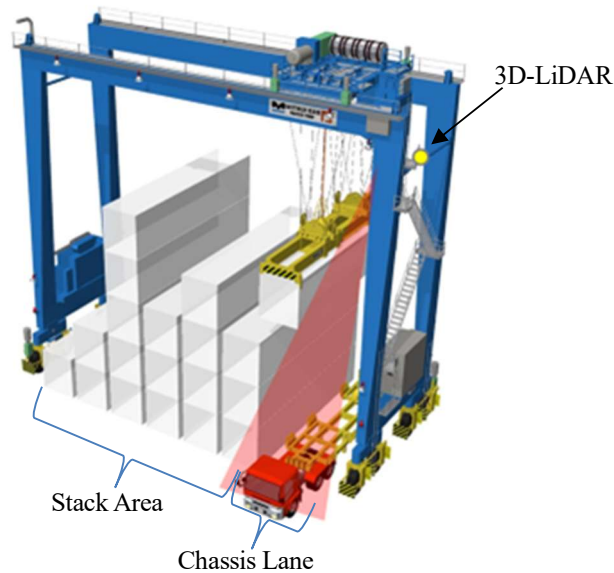


Figure 1 3D-LiDAR Installation Location

Table 1 Specifications of 3D-LiDAR

Item	Value
Working range	0.2m~130m
Scanning range (At 10% remission factor)	40m
Scanning frequency	12.5Hz, 25Hz
Tilting speed	0.1deg/sec~20deg/sec

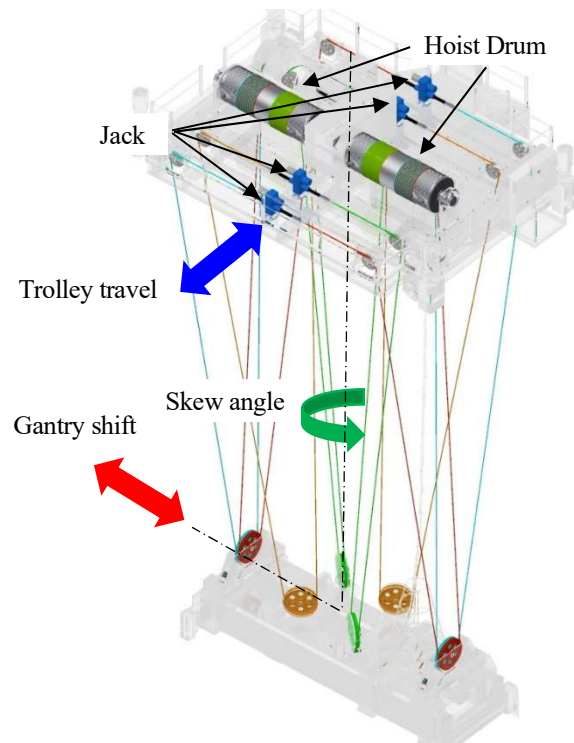


Figure 2 Spreader Positioning Mechanism (Micromotion)

Table 2 Specifications of Micromotion

Item	Value
Gantry shift	$\pm 200\text{mm}$
Skew angle	$\pm 5\text{deg}$

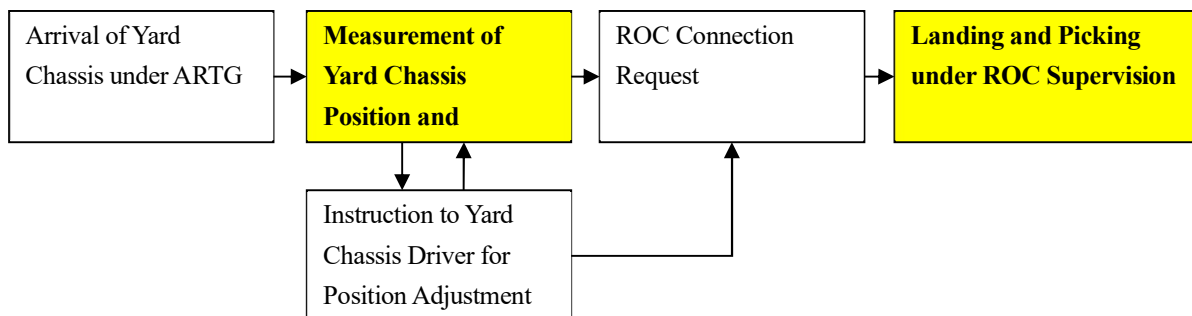


Figure 3 Sequence of Container Landing Operations from Chassis Arrival under ARTG

3. シャーシ位置・姿勢計測

3・1 計測手法

計測の一例として、対象シャーシの写真および3D-LiDARの三次元データを図4に示す。取得された三次元データから、特徴点としてシャーシのコンテナガイド、およびコンテナ上面の長辺・短辺の検出が可能であることを確認した。

拡大したコンテナガイドの写真とその三次元データを図5に示す。三次元データからコンテナガイド頂点近傍の計測点を抽出し、これらの点群を用いてシャーシ位置を規定する線分を同定する。同定された結果の例を赤線で図6に示す。この線分から、シャーシの前後・左右方向位置および姿勢を導出した。

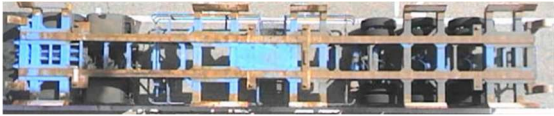
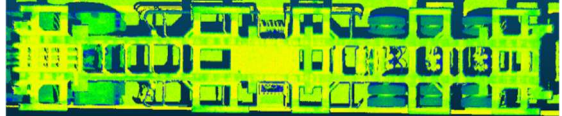
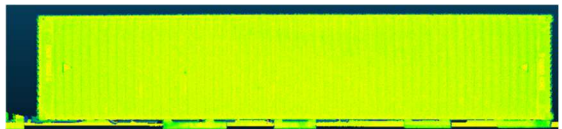
	RGB Image	3D point data
Chassis		
Container		

Figure 4 RGB Image and 3D point data

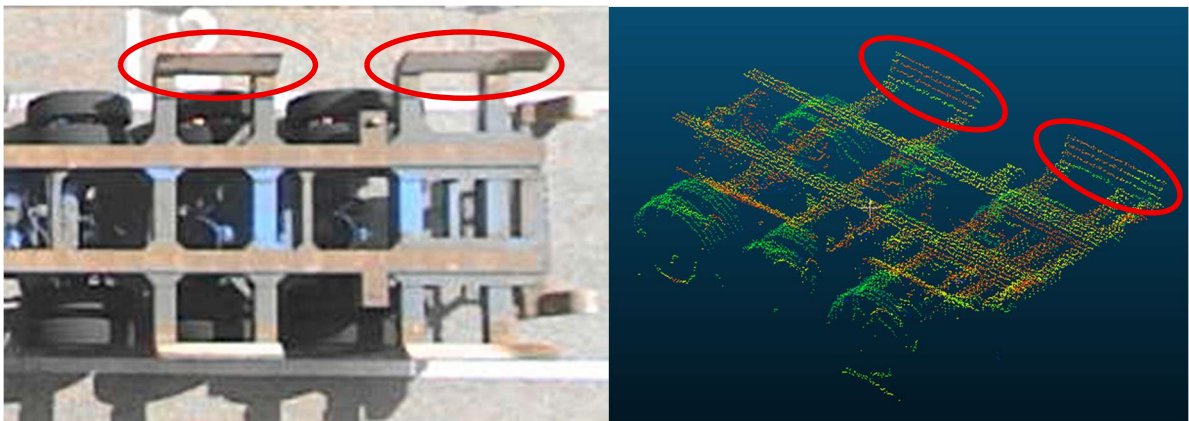


Figure 5 Container guide

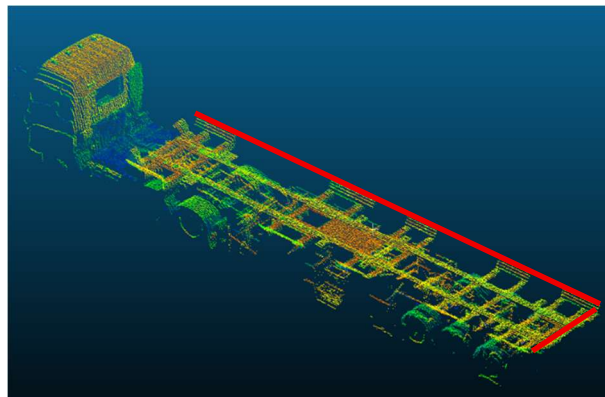


Figure 6 Red Line for Position and Orientation Measurement of Chassis Based on 3D Point Data

3・2 精度検証

評価にあたっては、ヤード地面を基準とした ARTG の位置・姿勢およびシャーシの位置・姿勢を、レーザ機器を活用して3 ケース実測し、それぞれに対応した三次元データからの計測値と比較した。実測値から求めた ARTG に対するシャーシの相対位置・姿勢と三次元データから算出した相対位置・姿勢を求め、それらを差分したものを誤差とした。シャーシへの各着床条件について、求めた誤差の3 ケースの平均値を表3 に示す。また、各位置・姿勢についてまとめた結果を、コンテナガイド幅から求めた誤差の許容値とともに表4 に示す。

その結果、走行、横行、姿勢角すべての計測値が表4 に示すコンテナガイドの許容範囲内に収まっており、シャーシへの着床が可能な精度であることを確認した。

Table 3 Accuracy of Chassis Position and Orientation Measurement

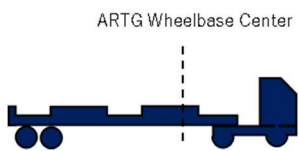
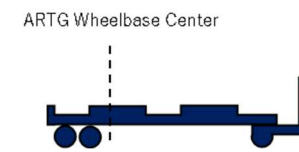
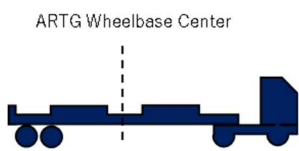
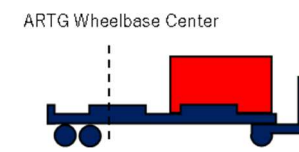
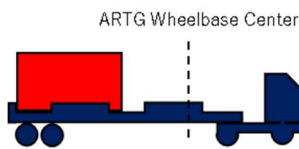
Condition	Image	Error		
		Travel direction [mm]	Traversing direction [mm]	Orientation angle [deg]
Landing command	20ft front 	2.1	-4.5	-0.101
	20ft rear 	9.1	-6.3	-0.103
	40ft 	-4.6	18.5	-0.090
	20ft rear 	15.0	25.8	0.037
	20ft front 	-40.0	32.5	-0.025

Table 4 Summary of Accuracy

Tolerance (Calculated from guide width) [mm]	Summarized Error		
	Travel Direction [mm]	Traversing Direction [mm]	Traversing Direction Error Derived from Orientation Angle [mm]
± 140	- 40~15	-6.3~32.5	-10~2

4. 実環境試験結果

実ターミナルのコンテナヤードにおいて、実際に運用されているシャーシおよび空コンテナを用いた把持・着床試験を実施した。試験に使用したシャーシとコンテナの組み合わせは、実際のコンテナターミナルでの荷役状況を想定し、図7に示す構成とした。

試験動作の一例を図8に示す。巻き下げ動作中に横行・走行シフト・スキュー角度の調整を行っており、図9に示すような位置・姿勢の補正を行っていることが確認できる。この動作によって、荷役試験中は着床時にはコンテナがコンテナガイドに乗り上げることなく、把持時にはスプレッダがコンテナに乗り上げることもなく、荷役を完了することができ、機能の妥当性が確認できた。

さらに、シャーシへの荷役時間について、遠隔手動操作と半自動荷役技術の比較を行った。比較に用いたデータは、半自動荷役の把持・着床各50件ずつである。比較した荷役時間は、荷役作業で負担が大きくその時間に変動が発生しやすいシャーシ近傍高さから把持・着床完了までの時間、すなわち図10に緑矢印で示す時間とした。遠隔手動の荷役については、実荷役データより把持・着床データ各50件を無作為に抽出し、同条件の荷役時間を算出した。

荷役時間のヒストグラムを図11に、統計データを表5に示す。これらの結果より、以下を考察した。

- 把持 (Picking) : 半自動荷役技術は、遠隔手動と比較して平均値・標準偏差ともに小さい
- 着床 (Landing) : 半自動荷役技術は、遠隔手動と比較して平均値は劣るが、標準偏差は小さい

把持・着床ともに荷役時間の標準偏差が小さく、作業の安定性が高い結果が得られた。

着床動作については、半自動荷役において、荷役時間が35~47秒である分離された集団（以降、分離集団）が存在する結果となった。この分離集団は、把持・着床前の位置合せに時間を要したサンプルであることが確認されている。なお、本試験は安全を重視し、把持・着床許可条件を荷役目標位置の±25mmに設定したが、コンテナガイドのサイズを考慮すると、±50mm程度に緩和できると考えられる。許可条件を±50mmまでとし、分離集団が主集団に含まれるようになると仮定し、分離集団を除いた統計の結果を表5に赤字で追記している。この緩和を仮定すれば、動作時間の平均値および標準偏差がともに小さくなると期待できる。

しかし、半自動荷役による平均荷役時間の短縮は、限定的であり、継続した計測制御法の改善が必要である。

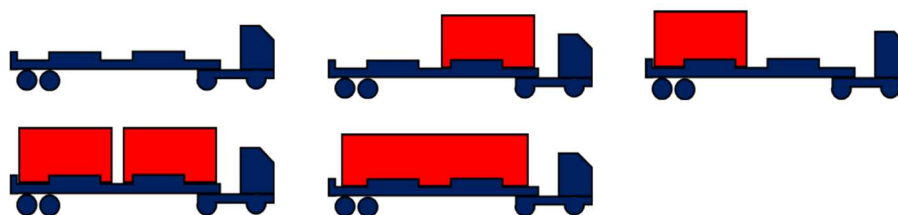


Figure 7 Container Arrangement

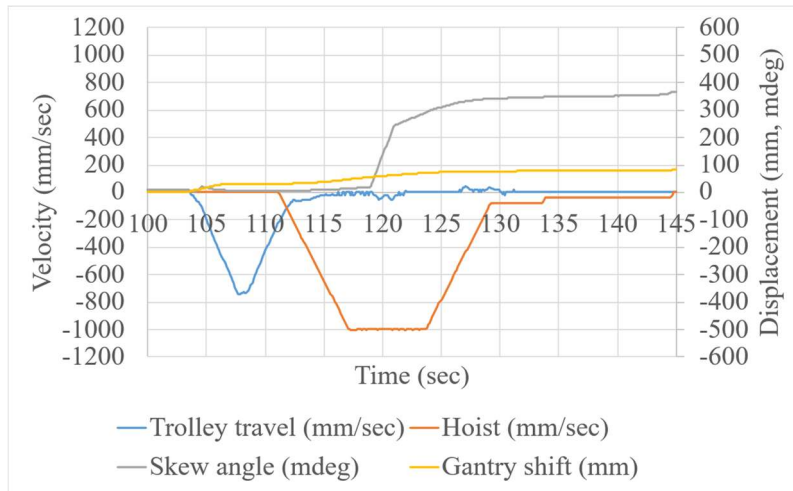


Figure 8 Example of Landing Motion

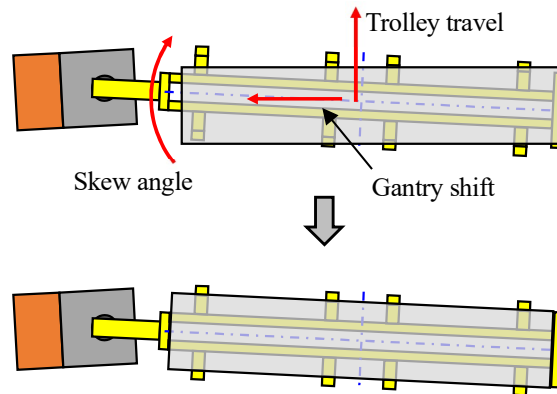


Figure 9 Example of Landing Motion Situation

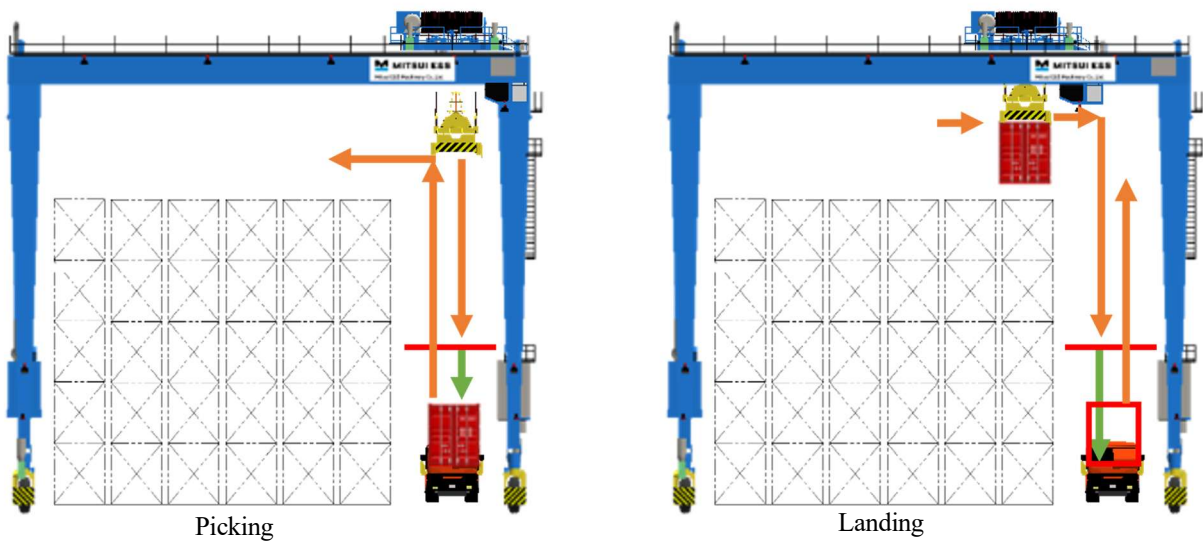


Figure 10 Path for Time Measurement (Green Line)

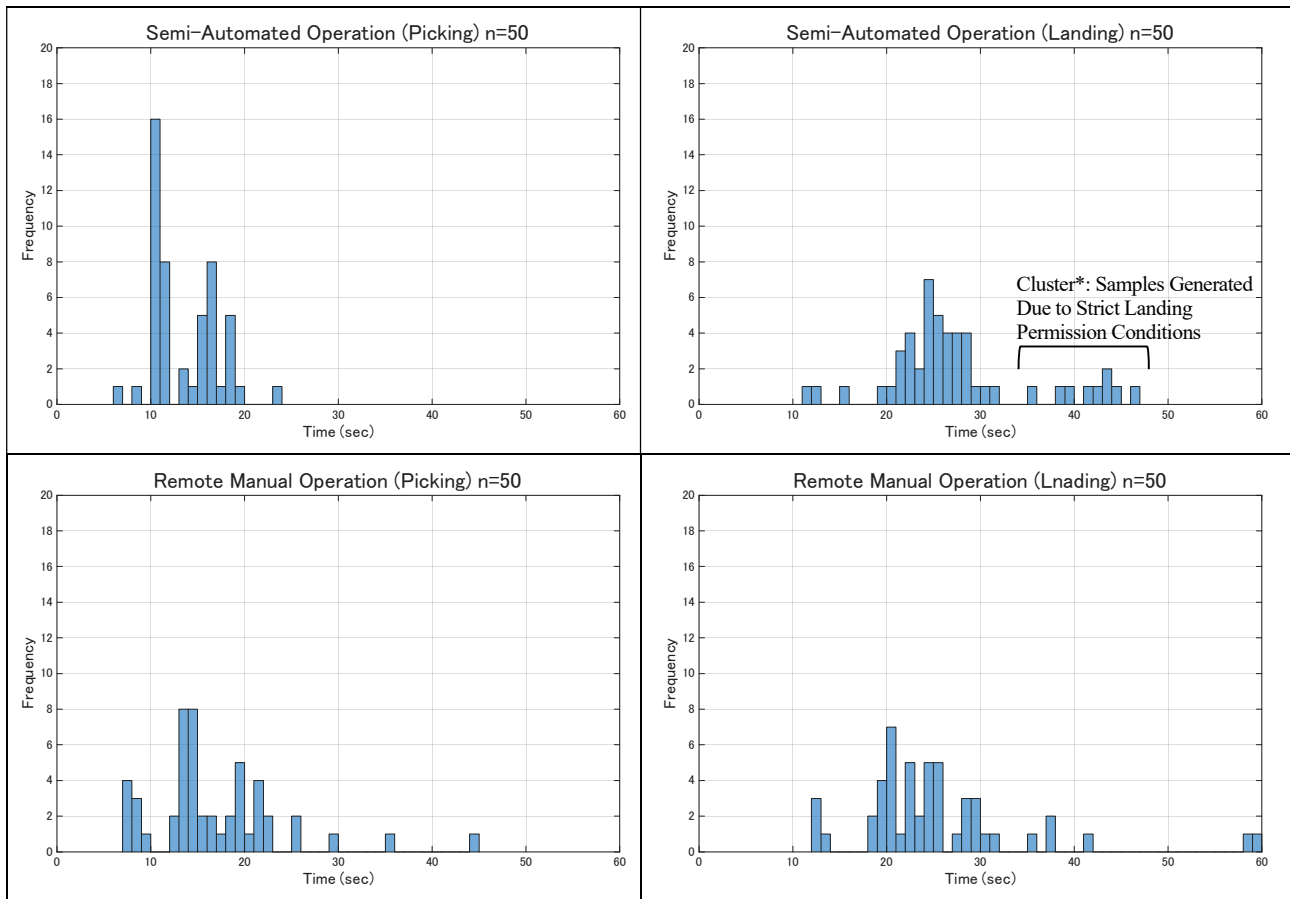


Figure 11 Operation Time Histogram

Table 5 Results of Analysis — Mean (SD); Red Values Exclude Cluster*

(Unit: sec)	Picking	Landing
Semi-Automated Operation	13.6 (3.6)	27.6 (7.8) 24.5 (4.2)
Remote Manual Operation	16.9 (7.0)	25.5 (9.3)

5. 結 語

本研究では、ARTGに3D-LiDARを1台追加し、シャーシの位置・姿勢を計測し、吊具およびコンテナをシャーシに着床させる半自動荷役の実現可能性を検証した。遠隔オペレータによる安全監視の下で、自動による荷役が可能であることを確認でき、オペレータの作業負担を低減する運転支援として提案可能であると考えている。一方、半自動荷役効率については、把持荷役の場合は、荷役時間の平均および標準偏差の改善が見られたものの、着床荷役については課題が残る結果となった。

港湾荷役のさらなるオペレータの作業環境改善、荷役効率の安定化には、ARTGのシャーシ半自動荷役の計測制御技術の改善が必要である。パラメータ調整も含め、計測と制御の両面からの検討を継続して進める予定である。

また、今回の成果により、AGV (Automated Guided Vehicle) などの無人シャーシに対する自動荷役の可能性も確認できたと考えており、引き続き準備を進めていく。

さらに、種類の多い構外 (外来) シャーシに対する半自動荷役に対応していくことが今後の課題として位置づけられる。継続して港湾コンテナターミナルの作業環境改善、荷役効率安定化、安全性の向上に寄与できるようにARTGの機能改善を進めていく。

6. 謝 辞

本技術は、国土交通省の「港湾技術開発制度」に基づき、2023年度から2024年度にかけて実施された受託研究開発の成果である。ここに深く感謝の意を表す。

文 献

- (1) 中田成幸, 星島一輝, 宮田淳也, “コンテナ荷役の作業環境改善と生産性向上”, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第60巻, 第2号(2025).
- (2) 国土交通省, 2025, 「港湾運送事業における実態調査」, 国土交通省ホームページ (2025年9月11日取得, <https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001903890.pdf>)
- (3) 「AGV の走行を支える RFID とは?位置情報と制御の仕組みを解説!」, 生産システム設計.com ホームページ (2025年9月11日取得, <https://seisan-system.com/knowledge/1538>)