

フレキシブル水平搬送システムの開発

大本 絵利 土井 暁 鈴木 理史
浜田 耕史 滝沢 平一郎 柏 友仁
(東京機械工場) (東京機械工場)

Development of Flexible Automated Conveyance System

Eri Ohmoto Satoru Doi Masashi Suzuki
Koji Hamada Heichirou Takizawa Tomohito Kashiwa

Abstract

Aiming at laborsaving in the conveyance work of interior materials, the authors developed an automated conveyance system that can respond flexibly and inexpensively to changes in a situation at a construction site. An IC tag signboard that specifies the conveyance destination is attached only onto a material used at the site. A diving-type automated guided vehicle (AGV) can load the material automatically, and the developed system can move it to the target destination. Moreover, since the system can be set up simply by using just a magnetic tape stuck on the floor as a conveyance course, changing the course is easy. Then, it was found that using our system, conveyance work could be reduced to about 1/2-1/3 that using the conventional way, it was also verified that workers could focus on the skill work.

概要

内装資材の搬送作業の省力化を目指し、低コストで、建設現場特有の状況変化にフレキシブルに対応できる水平搬送システムを開発した。本システムは、現場で使用する資機材に搬送先を明示したICタグ看板を置くだけで、潜込み式無人搬送車（AGV：Automated Guided Vehicle）が、自動で資機材を積込み、目的位置に搬送することができる。また、搬送経路には磁気テープを使用しており、床に貼り付けるだけで簡易に設定できるため、経路変更が容易である。これにより、従来の搬送方式に比べ、揚重作業時には1/2に、水平運搬作業のみでは1/3に省力化でき、作業員を技能作業に集約できることを確認した。

1. はじめに

近年、建設作業員の高齢化・就業労働者の減少など労務事情が悪化している。今後、労働生産性の向上は必須であり、その対策の一つとして、単純・重筋作業の工事機械への代替が求められている。特に、資機材の運搬作業は建設工事全体の中でも多くの時間を占め、単純繰り返し作業であるため、機械化による省力化のメリットは大きい。

筆者らは、これまでいくつかの自動化搬送システムを開発してきた^{1)・2)}。これらの多くは完全自動化を目指していたため、現場導入の際は、計画段階からストックヤードの配置、システムの動線、搬送機材や揚重機の改造などを詳細に検討する必要があった。また、自動機器を工事条件に対応して特注で製作したため、システムが高額となり現場で容易に採用できないという課題もあった。

そこで、内装資材の搬送作業の省力化を目的とし、低コストで、現場の施工条件の変化にフレキシブルに対応できる水平搬送システムを開発した。

本稿では開発したシステムの概要とこのシステムを初めて適用した現場での運用状況について報告する。

2. 水平搬送システムの構成

開発したシステムは、仕上げ・設備工事で使用される資機材の水平搬送を対象としており、従来、荷取階においてフォークリフトや電動パレットなどで行っていた搬送作業を自動化することによってさらに省力化を図る。システム全体の概要をFig.1に示す。待機位置・荷取位置・ストックエリアにより構成される磁気テープ（厚さ1mm）の走行経路上を、潜込み式AGV (Automated Guided Vehicle) がICタグによる行先の指示に従い搬送作業を行う。システムの中核となるAGVの仕様・外観をTable 1 およびPhoto 1 に示す。このAGVは、AGVキット・制御部・低床ジャッキ機構の3つの要素から構成されている。これらの要素ごとに特徴等を記述する。

2.1 無人搬送車（AGV）キット

採用したAGVキットは、機械・食品・医薬品など様々な業種の工場や物流センターで広く普及しており、信頼性が高い。また、積載重量や走行方式によって複数種類のものがあるため、利用者が低価格でAGVを組み上げることができる。

走行制御には磁気テープを用いるため、工事の進捗状

況に合わせて、配置・盛替えを簡易に行うことができる。また、停止場所や搬送経路の分岐の指示のために、磁気マーカーも利用できる。これにより、特定の位置でAGVを減速させるといった制御も自由に設定できる。さらに、利用者が作成したプログラムでAGVを制御できるため、フレキシブルな運用を可能とする。

2.2 ICタグ看板を用いた制御部

資材上にICタグを置くことで、搬送したい場所を自由に指定できる。アクティブ型非接触式のICタグを使用しており、AGVに搭載されたタグリーダーによって資材の積載時に行先を把握し、搬送を行う。電子機器の操作が不得手な作業員でも簡単な操作で搬送先を指示できるので、臨機応変な対応を要する工事現場での運用には有効である。

また、ストックヤードのレイアウト変更等にはPhoto 1の制御盤に設置されたタッチパネルで管理者やオペレータが対応する。タッチパネルの画面イメージをPhoto 1左上部に示す。

2.3 低床ジャッキ機構

AGVは、荷台の左右に低床ジャッキ機構を備えている。これらのジャッキをスライドさせることで、資材の下に潜り込んで積載することが可能である。そのため、フォークリフトのようなカウンターウェイトが不要となり、台車本体を350kgと軽量化できた。通常、上層階にて搬送にフォークリフトを使用する場合は、床補強等の工事が必要になるが、本システムの場合は不要である。

ジャッキのストロークは90mmから350mmであり、100角の輪木が利用できる。このため、現在、現場内の資材搬送として最も使用されている電動パレットなどの機器との併用が可能である。

2.4 積載動作フロー

AGVによる積載動作フローをPhoto 2に示す。

- 1) 積載位置に近づくとAGV前方に搭載された赤外線センサにて積載対象を検知し停止する。
- 2) 低床ジャッキを資材下部にスライドさせる。
- 3) ジャッキを上昇し資材を持ち上げる。
- 4) 持ち上げた資材の下に台車本体部が潜り込み、荷台に資材を積載する。

Table 1 潜込み式AGV仕様

Specification of Diving Typed AGV	
サイズ (mm)	L2,030×W1,250×H1,600
最高速度 (m/min)	30
積載荷重 (kg)	900
本体重量 (kg)	350

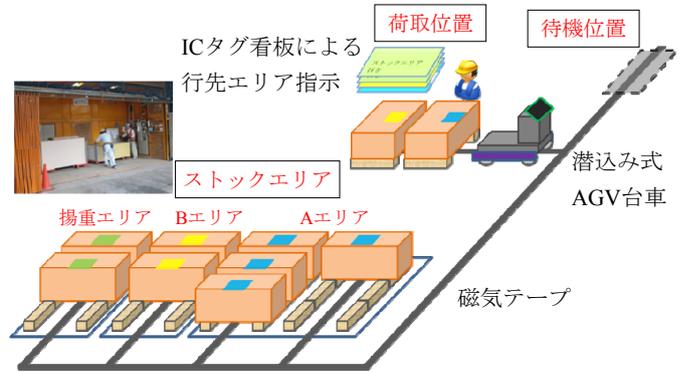


Fig. 1 水平搬送システムの基本構成
Basic Configuration of Automated Conveying System

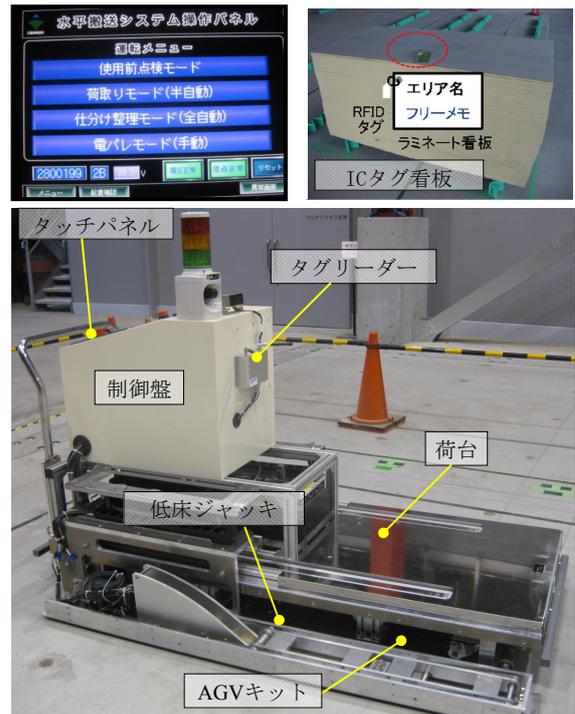


Photo 1 潜込み式AGV台車の外観
View of Diving Typed AGV

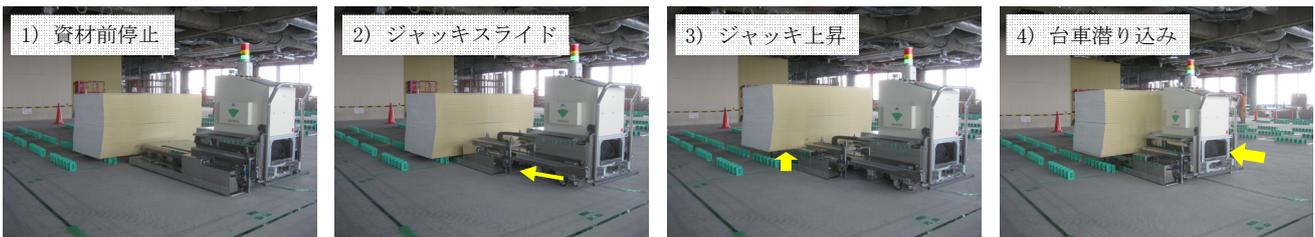


Photo 2 積載動作フロー
Flow of loading motion

3. 基本実験

3.1 建設現場における課題

一般製造業の工場内にAGVを導入する場合と異なり、建設現場特有の以下の課題を解決する必要がある。

- 1) 作業員との協働となるため、二重三重の安全対策が必要である。
- 2) システムの非稼働時にハンドパレットが磁気テープ上を走行するため、対応が必要である。
- 3) 荷崩れの防止等の配慮が必要である。
- 4) 施工中の建物内での使用であり、機械部品には雨上がりや粉塵等への対応が必要である。
- 5) 本システムは、仮設としての導入であるため、容易な盛替えや跡の残らない磁気テープの固定が必要である。

そこで、工事現場の環境下や技術研究所内の実験施設内 (Photo 3) で、事前にシステム仕様決定のための各種の基礎実験を実施した。いくつかの実験結果の一部を以下に報告する。

3.2 AGV性能基礎実験

3.2.1 安全機構 AGVには、安全のために障害物センサが搭載されており、検知方向は、進行方向に応じて切り替わる設定としている。Fig. 2に積載荷重と最高速度からの制動距離との関係を示す。荷重の増加とともに制動距離が増えるため、センサの検知距離を安全に停止できる1,000mmとした。また、フェールセーフ機構として接触バンパを備え、十分な安全対策をとった。

また、磁気テープがハンドパレットの通過等により破断した場合を想定し、磁気センサ性能について検証した。その結果、テープの破断距離が100mm以内であれば、ほぼ継続走行可能であることを確認した。なお、100mm以上の場合は確実にセンサが磁気テープを読み込めず、台車が停止するため、安全側に作動することも確認した。

3.2.2 動作安定性 荷崩れ防止のため、加速・減速・方向転換時および旋回半径をパラメータとした際の旋回時の動作検証を行った。その結果、旋回時には資材の重心位置がAGV中心からずれると蛇行するため、積載物重心とAGV本体の重心が台車中心部へ近づくような設計とした。

また、粉塵等への対策としては、ジャッキ駆動部、積載部、制御機構周辺にカバーリングを施した。これによる、磁気や読取り性能には影響が無いことを確認した。

3.3 システム構築のための基礎実験

3.3.1 磁気テープ施工 システム導入時の磁気テープ施工方法決定のため、現場にて磁気テープの貼付実験を行った。電動パレット等の使用頻度が高い資材揚重専用の工事用エレベーター (以下、工事用EV) 前 (A) と歩行者が多い作業員専用の工事用EV前 (B) で各種貼付方法を実施した結果、直貼りが最も丈夫に施工でき、

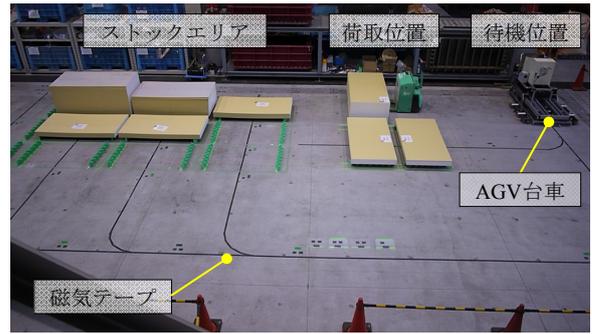


Photo 3 台車性能実験
Performance Experiment of Cart

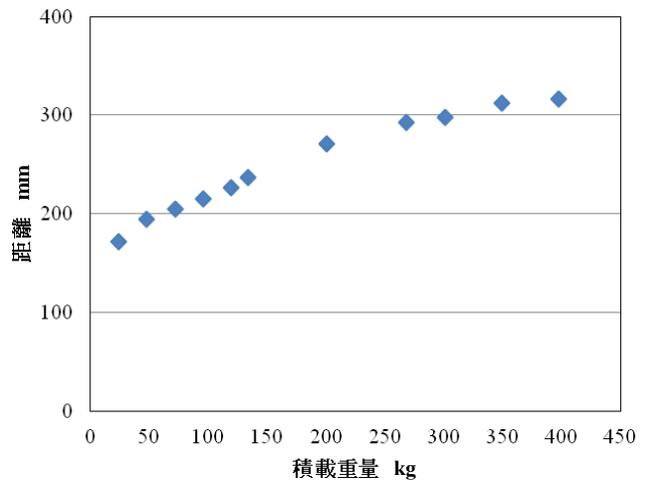


Fig. 2 積載荷重と制動距離
Correlation between Movable Load and Braking Distance

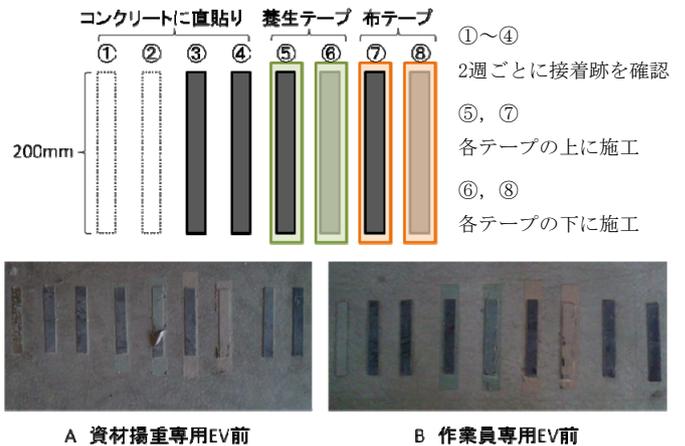


Fig. 3 磁気テープ貼付実験
Pasting Experiment of Magnetic Tape

その上からの養生は必要ないことが分かった (①~④, ⑥, ⑧)。しかし、4週間以上継続使用すると接着跡が残るため仕上げに影響を与えらる。そこで、盛替え・撤去が最も容易に行うことができる養生テープの上に施工する方法 (⑤) を採用した。

4. 現場におけるシステム運用

4.1 適用対象工事条件

システムを初めて適用した工事現場の概要をTable 2に示す。対象工事の揚重条件として、構造上の制約から、低層用と高層用の工事用EVが分離されるため資材の移し替えが生じた。そこで、Fig. 4に示すように、工事中の建物の34Fにストックヤードを設け、工事用EV間の水平搬送作業を行う計画とした。昼間の揚重作業中には、低層用の工事用EVで揚げられた資材をストックヤードへ効率よく仮置きし、それ以外の空いた時間に、必要資材を高層用の工事用EV前へ並び替える必要がある。これらの水平搬送作業を自動化して搬送作業員を削減することを目的として、本システムを34Fストックヤードに導入した。

高層階は住宅・ホテル部となるため、内装材として石膏ボードが多用される。これまでの他現場での揚重実績から、総揚重回数の3割程度と大きい割合を占めると予想される。また、石膏ボードは定型であり、自動化の対象物としても扱いやすいと考えられるため、導入時の主たる搬送対象とした。

Table 2 工事現場概要
Outline of Construction Site

工事名称	(仮称) 環状第二号線新橋・虎ノ門地区 第二種市街地再開発Ⅲ街区新築工事
主要用途	事務所・店舗・カンファレンス・住宅・ ホテル・駐車場
主体構造	鉄骨造+鉄骨鉄筋コンクリート造+鉄筋 コンクリート造
階数	地上52階 地下5階 塔屋1階
敷地面積	17,069 m ²
建築面積	9,391 m ²
延床面積	244,360 m ²
最高高さ	247.00 m

4.2 配置計画

4.2.1 スtockヤードの配置 対象工事現場の34Fでシステムを運用するにあたり、Fig. 5のようにレイアウトを計画した。自動搬送領域は関係者以外立入禁止とし、安全を確保した。また、本領域を、

- 1) AGVの運転を開始する「待機位置」
- 2) 低層用の工事用EVで揚重されたボードを置く「荷取位置」
- 3) 資材の用途別にストックする「ストックエリア」
- 4) 3)の特に高層用の工事用EVへの揚重用を「揚重エリア」

の4種類に分類した。ただし、これらの経路配置は工事の進行に合わせて磁気テープを貼り替えることにより柔軟に変更した。ボード山の配置は、長期保管しても躯体に影響が無いことを構造計算により確認した。

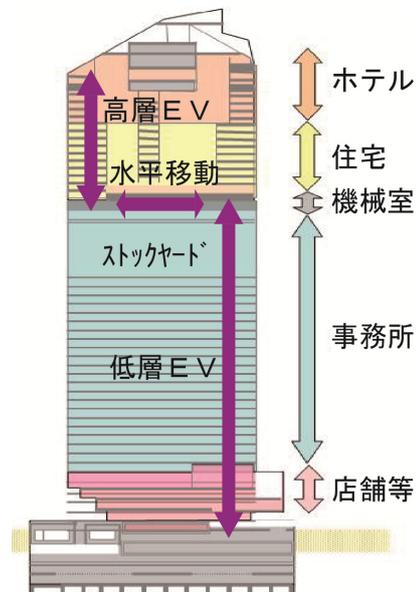


Fig. 4 資材の揚重条件
Condition of Material Lifting

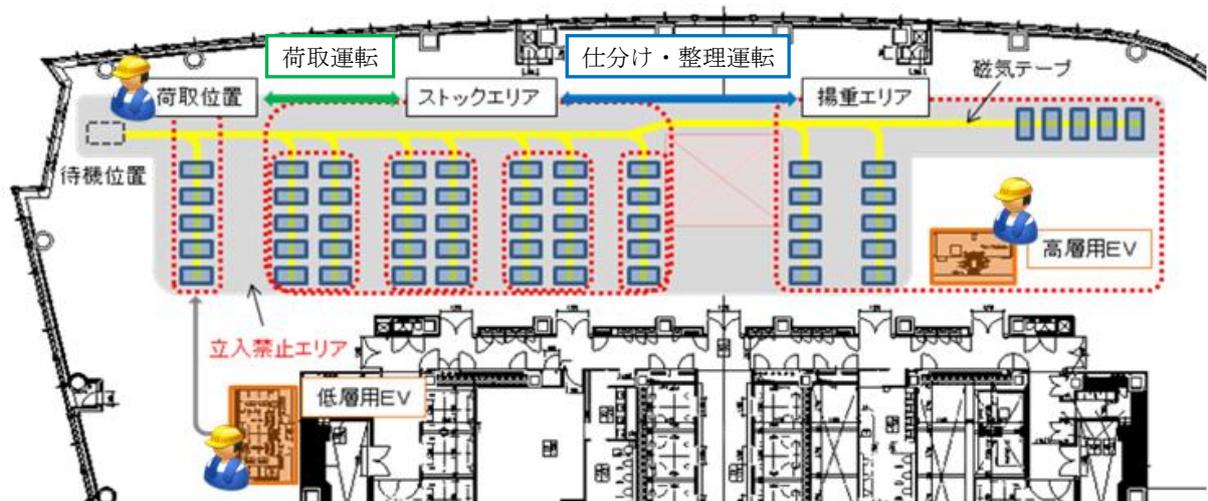


Fig. 5 スtockヤード配置計画
Stockyard Arrangement Plan

4.2.2 作業員の配置 システム運用時の作業員の人数は、従来と同様に各工事用EVのオペレータ要員に1人ずつ、また、搬送システムのオペレータ要員として、1人をFig. 5に示すように配置した。

4.3 システム運用方法

本システムの運用は、AGVタッチパネルより以下に示す3通りの運転モードで運用した。

4.3.1 荷取運転（半自動モード） 揚重作業時に運用する。低層用の工事用EVで34Fに揚げられ、荷取位置に荷降ろしされたボードをストックエリアに内装業者別・ボードの種類別に以下の動作で順次仮保管する。

- 1) 管理者は、AGVの自動運転を開始する待機位置にて、当日の揚重内容に合わせて業者やボードの種類ごとにストックエリア内の搬送先を設定する。
- 2) 荷降ろし作業員は、低層用の工事用EV到着後、ボードを工事用EVから荷取位置まで搬送し（Photo 4）、ボード上に各エリアへの行先のタグ看板を置く。
- 3) 管理者がスタート指示を出すとAGVは荷取位置に向かって走行を開始する。
- 4) 荷取位置において、ボードがあることを認識すると停止し、積載・タグ認識を行う（Photo 5）。
- 5) スtockエリア内の指示エリアに搬送を開始し、最も揚重エリアに近い位置から詰めて、順次ボードを仮置する（Photo 6）。
- 6) 4）、5）の動作を揚重が終了するまで繰り返す。
揚重作業中でも荷取位置にボードが無い場合は、待機位置に戻り、停止・待機する。

4.3.2 仕分け・整理運転（完全自動モード） 主に、揚重作業時以外に運用する。高層用の工事用EVによる揚重効率を上げるため、ストックエリア内と揚重エリアとを工事用EVの揚重計画に合わせて整理する。また、揚重時にもボードの種類が単一の場合は本モードでの自動搬送が可能である。

- 1) 管理者が現在のストックエリアと揚重エリアのボード配置状況をタッチパネルより入力するか、AGVによって、自動で把握する。
- 2) 管理者は現在の配置に対して整理後の配置を設定し、システムをスタートさせる。
- 3) AGVは、ボードを指示されたエリア内の列の奥から詰めて、順次整理する。全ての作業が終了するまで完全自動で動作する。

4.3.3 手動運転（電動パレットモード） 上記2つの運用方法以外に、電動パレットとして使用した。この場合、磁気テープによる走行経路は不要であり、無軌道上で作業員が手動で自由にAGVを操作した。

4.4 システムの適用結果

4.4.1 導入準備作業 工事現場へのシステム導入には、台車搬入作業、磁気テープの敷設、台車調整作業および作業員への教育といった準備作業が必要となった。



Photo 4 低層用EVからの荷降ろし
Unloading from the Low-rise Elevator



Photo 5 荷取位置での資材の積載
Loading Material at Pick-up Location



Photo 6 資材の仮置
Material Temporary Placement

2013年3月中旬に台車の搬入を行った。搬入作業にあわせて、充電設備の設置、および磁気テープの敷設作業も行ったが、ほぼ一日で作業を終えることができた。現場の作業工程にはほとんど影響を与えず、効率よく導入・施工を完了できた。

4.4.2 稼働状況 現場適用した台車の稼働状況の実績データを収集するため、台車使用日報を作成した。2013年4月より、台車のオペレータがシステム稼働時に以下の項目を日報に記入した。

- 1) 低層用の工事用EV揚重開始～荷取終了時間
- 2) 荷取人数
- 3) ボード種類
- 4) 搬送山数
- 5) 荷取場所と搬送先
- 6) AGV使用終了時間
- 7) 終了時のストックヤード山数
- 8) 高層用の工事用EV揚重内容
- 9) 備考

Table 3 日報データの要約

Summary of daily operation report data	
システムの稼働可能日数	63日
システムの実稼働日数	21日
内装ボードの総揚重量	2,208山
システムが扱った搬送量	660山
システムの総稼働時間	67.5h
荷取運転モードの時間	57.2h
仕分け・整理運転モードの時間	10.3h

日報記録を開始した2013年4月から、台車を工事現場から撤去した7月上旬までの約3ヶ月間の稼働状況の概要をTable 3に示す。3ヶ月間でシステム稼働日数は63日となった。この間に、主要な搬送対象とした内装ボードの総揚重量は2,208山であった。しかし、台車の可搬重量の制約から、900kg/山(3×6尺サイズの石膏ボード)のみ搬送したため、システムが実稼働した日数は21日間(67.5時間)にとどまった。この結果、システムが扱った物量は、内装ボード全体の約3割の660山となった。今後、システムの取り扱える資材を増やすために、可搬重量の増大は不可欠である。

システムが扱った物量の内、107山は仕分け・整理運転によってストックヤード内で自動整理された。このような前日夕方の自動整理により、内装ボードの搬入が無い日も朝から高層用の工事用EVで揚重を行えた。この結果、工事用EVの効率的な運用ができるという効果も得た。

4.4.3 省力化効果 従来、工事用EVからの資材搬送には3名の作業員が必要であったが、システムの導入によりオペレータ1人となり、搬送作業員が2名削減される。つまり、揚重作業時の荷取運転では4人(工事用EVオペレータ1人と搬送作業員3人)を2人(工事用EVオペレータ1人とシステムオペレータ1人)になる。また、水平運搬のみの整理運転時は3人(搬送作業員3人)をオペレータ1人に省力化できる。

前述の63日分の日報データを基に、自動搬送した660山の内装ボードも作業員が搬送したと仮定して、Fig.6にシステムの省力化効果としてまとめた。同図では、63日間における全ての対象資材を作業員が搬送した場合の工数を100%として示した。なお、システムの主たる対象であるボードと、他の資材とに分けて示した。内装ボードは重量が大きく多量に搬送されたため、全体工数の約46%を占めた。前述の可搬重量の制約等により、システム適用による省力化の割合は、全体の約9%にとどまった。今後、可搬重量の増大により内装ボード全てを搬送できれば、約30%の省力化が実現できたと想定できる。

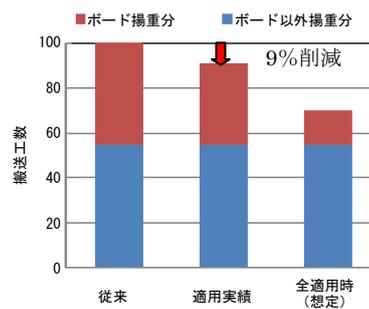


Fig. 6 従来との工数比較
Cost comparison with the former

4.4.4 フレキシブルな運用 工事の進捗状況にあわせて、Fig.5に示したストックヤードのレイアウト変更が求められた。高層用の工事用EVへの揚重量が増加したため、揚重エリアへのストック量を増やした。これには、磁気テープの貼替えによる搬送経路の変更、ICタグ看板の作成およびタッチパネルによるレイアウト変更などの作業を管理者1名が半日で実施することができた。

5. まとめ

磁気テープの走行経路上を積載荷重900kgの潜込み式AGVがICタグによる行先の指示に従い搬送作業を行い、工事現場の施工条件の変化にフレキシブルに対応できる水平搬送システムを開発した。本システムを超高層建物の新築工事へ適用した結果、以下の知見を得た。

- 1) 今回の適用では、複数の運転モードを採用したことで、効率的な運用ができた。
- 2) レイアウト変更に対して、磁気テープの盛替えを行うことにより、柔軟に対応できた。
- 3) 作業員は、揚重作業時には1/2に、水平運搬作業のみでは1/3に削減可能となった。

労務事情が好転しない中、水平搬送距離が長い工場や大型商業施設等の工事現場や、超高層建物での地上階の荷取作業や各階への夜間間配り等、搬送作業省力化に対する要請は多い。また、他の資材への適用の要求もある。今後は、初めてのシステム適用で抽出した課題を改善すると共にシステムへの機能追加を進めて適用範囲を拡大し、サイト物流の効率化に資する研究開発を行っていく。

参考文献

- 1) 浜田，他：超高層建物における仕上資材自動搬送システムの開発，大林組技術研究所報，No. 52，(1996)
- 2) 浜田，他：建築仕上・設備資材の自動化搬送システムの開発，大林組技術研究所報，No. 64，(2002)