

特集 IT と建設の機械化

IT 利用による自動化搬送システムの開発 — 建築工事における仕上・設備資材の 揚重作業を対象として —

浜田 耕史・堂山 敦弘

建築工事における仕上・設備資材を仮設のリフトやエレベータで搬送する作業は、特に超高層建物の施工において隘路となり、効率化が求められている。今回開発した自動化搬送システムは、大阪市内の超高層建物に導入された。自動化搬送システムは、自動フォークリフト（AGF：Automatic Guided Fork-lift）と建設資材材に対応したラック棚、移載装置等の自動化設備とインターネットを利用した揚重管理システムによって構成される。システムの適用結果から、自動化設備を使用した揚重作業の効率（単位時間当りの揚重量）は、在来の揚重方式に比べ、約 1.44 倍と高くなった。また、揚重管理システムによって、いつでも、どこからでも揚重機の予約状況を確認しながら予約ができ、関連業者や管理者の業務を約 80% 軽減した。

キーワード：建築、仕上工事、超高層建物、揚重、搬送、自動化、インターネット、IT

1. はじめに

建築工事における仕上・設備資材を仮設のリフトやエレベータ（以下、揚重機と略す）で搬送する揚重作業は、特に超高層建物の施工において隘路となり、効率化が求められている。また、資材材の搬送作業そのものは付加価値が低く、機械化・自動化を進展させたい要素でもあり、技術開発のニーズは高い。

本報文では、自動化搬送システムを紹介すると共に、開発過程での IT 利用についても言及する。

2. IT 利用と自動化搬送システム

(1) システムの開発過程における IT 利用

一般製造業や物流業では、工場内の製品の搬送や配送センター、店舗等の拠点間の物流を最適化するために、離散事象シミュレーション等の IT

利用による計画手法が用いられる。その一つである Arena を用いて、超高層建物における搬送作業を事前評価した。Arena は、シミュレーションを実行する本体機能（SIMAN 言語）と実行結果をアニメーション表示する（Cinema）によって構成されている。エンティティ（entity、シミュレーション対象物。ここでは工事現場に搬入される資材）の発生、搬送設備の要求・開放、搬送、保管、加工処理、判断といった様々なモジュールを組合せることで、容易にモデルを構築することができる。シミュレーション結果から、工事現場への搬入トラックと揚重機の間にはストックヤードを設けることで、搬入に影響されていた従来の揚重作業の効率が著しく改善されることが明らかとなった¹⁾。

この事前検討結果を踏まえ、1995 年に 56 階建ての超高層建物を対象に、

- ① 建物の 1 階部分にストックヤードを設置、
- ② 自動化搬送設備の開発、

③ パソコンによる揚重管理システムの開発、を特長とする自動搬送システムを開発・導入した。IT 利用によって揚重機の実績データを自動収集して評価した結果、当初の目標を上回る成果を得た²⁾。この適用から、

- ① 狭いスペースでの適用、
- ② よりフレキシブルな搬送、
- ③ 夜間自動揚重の実現、
- ④ 揚重予約データのパソコンへの入力手間の軽減、

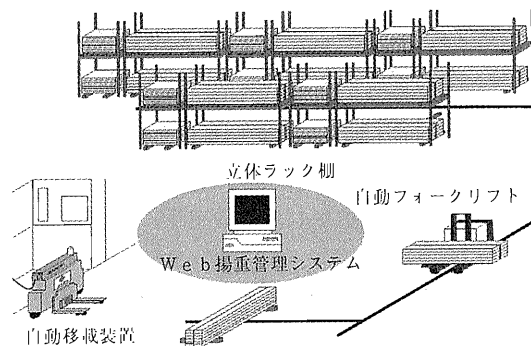
といった課題が残された。特に④については、進展の著しいインターネットを利用して協力会社間で揚重機の予約情報を共有することで、揚重荷重の分散が期待できた。また、従来は各協力会社からの Fax や電話連絡による揚重申込みデータを工事事務所の職員が入力していたが、Web を利用することによって協力会社の事務所からの入力が可能となり、職員の省力化が見込まれた。

上記の課題を解決して揚重効率をさらに高め、揚重機の設置台数を少なくして揚重関連費用を削減することが、今回の最終的な開発目標である。

(2) 自動化搬送システムの概要

今回開発した自動化搬送システムの概要図を図一1に示す。図のように、自動化搬送システムは、自動フォークリフト (AGF: Automatic Guided Fork-lift) と建設資機材に対応した立体ラック棚、自動移載装置等の自動化搬送設備と、インターネット利用による Web 揚重管理システムによって構成される。

自動化搬送設備は物流業等で用いられる立体自動倉庫を建築工事現場内に導入した概念である。



図一1 自動化搬送システムの概要図

夜間に資機材を搬入することなく夜間無人揚重作業を可能とするバッファの役目も担う。

Web 揚重管理システムは、揚重作業量を事前に山崩して揚重荷重を均一化し、自動化搬送設備を有効活用できるように統括管理する。

本システムは、建設 CALS/EC 実証実験の対象となった表一1に示す大阪市内の新築工事に適用された。

表一1 自動化搬送システム適用現場の概要

工事名称	大阪第5合同・法務総合庁舎 (1工区) 新築工事
発注者	国土交通省近畿地方整備局
用途	庁舎 (大阪高等検察庁ほか)
施工場所	大阪市福島区福島1丁目
工期	平成10年3月17日～平成13年10月末予定
構造	S造、一部SRC造
階数	地上24階、地下3階、塔屋2階
敷地面積	11,140.20 m ²
建築面積	2,233.32 m ²
延床面積	62,581.60 m ²
最高高さ	120.00 m

3. 自動化搬送設備

自動化搬送システムの適用工事では、システム導入による揚重効率の向上により当初の揚重機設置台数を削減した。このため、仕上工事の最盛期には最大で1日に4時間程度の残業を見込んだ。自動化搬送設備は、残業時間帯の揚重作業を中心に、仕上工事で多用されるボード類、軽鉄材や設備の盤といった定型化された資材を主な搬送対象として使用した。

仮設の立体自動倉庫となる1階部分のレイアウトを図一2に示す。資材を積載したトラックは3通りと4通りの間から建物内に入り、仮置きヤードに荷降しされる。AGFはホームポジションから資材を無人で入出庫し、人荷EV (図中のHCE 2800 BS) まで無人搬送する。人荷EV内の自動移載装置が資材を自動で受取り、所定階において自動で荷降しする。この工事では、人荷EVの他に、人専用EV (HCE 990 BS) も設置した。

(1) AGF と立体ラック棚

写真 (グラビア参照) に示す AGF の可搬重量は 1,500 kgf (質量 14,710 N) であり、走行方式には信頼性の高い電磁誘導方式を採用した。

仮設備として利用するために、走行面に溝を

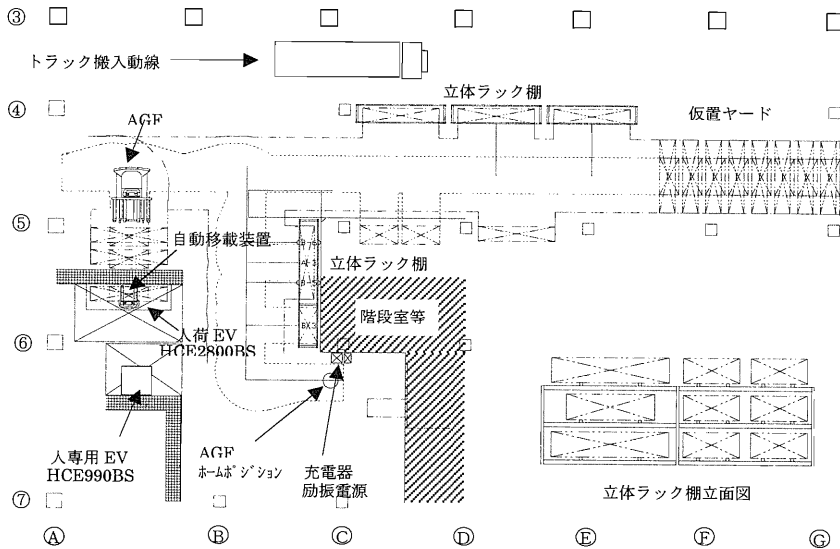


図-2 工事現場の1階レイアウト

設けることなく誘導線を設置した。一般製造業等で多用される AGF の標準機種をベースに、建築工事で必要となるセンサ、無線装置や特有の制御ロジックを組込むことで開発コストを抑えた。揚重機前の荷取り場では、自動移載装置との干渉防止のためにインターロック信号の授受により装置間の同期をとった。

狭所に対応した多段式ラックを採用することで、フレキシブルな入出庫が可能となった。ラック棚は、対象資材の形状に合せた 2 m と 4 m の 2 種類の幅のものを用意した。各ラックには番地が定められ、AGF の車体制御盤に番地を入力することで搬送作業が最大 99 回まで連続的に実行される。ラック棚で事前に梱包材を除去したり、各階に少量ずつ揚重する資材を他の資材と混載することで、揚重作業は効率化した。

(2) 自動移載装置

AGF によって搬送された資材を受取る状態の自動移載装置の外観を写真（グラビヤ参照）に示す。

自動移載装置は、人荷 EV 内に取付けられ、オペレータのボタン操作によって、荷積み・荷降しを自動的に行う。移載作業の自動化により、揚重時間の短縮と荷積み・荷降し作業員の省力化を可能にした。装置の可搬重量は 2,000 kgf（質量 19,613 N）で、EV から直接電源を供給されて動

作するため、バッテリーを搭載する必要がなく、自重は 800 kgf（質量 7,845 N）と軽量である。EV から容易に取外することができるため、作業員の移送時には障害とはならない。また、軽量の資機材や網台車の揚重時には、装置を取外して人荷 EV の搬器を最大限に利用できる。

4. Web 揚重管理システム

(1) システムの構成

Web 揚重管理システムの機能構成を図-3 に示す。各協力業者の事務所に設置された端末からインターネットに接続することで、以下の項目を実行できる。

- ① 揚重申込み状況の確認
- ② 新規の揚重申込み
- ③ 揚重申込みの削除や修正
- ④ 確認された揚重スケジュールの確認
- ⑤ 揚重作業終了後の実績の確認

揚重申込み時には、資材・揚重機・揚重階・揚重回数を入力すると、揚重作業の制約条件から申込みの可否が判定される。揚重可能であれば、推定所要時間が提示され、予約申込みが実行される。

揚重申込み端末は協力会社の事務所や工事事務所に設置されたインターネットを利用できるパソコンである。利用者は Web ページを通して揚重

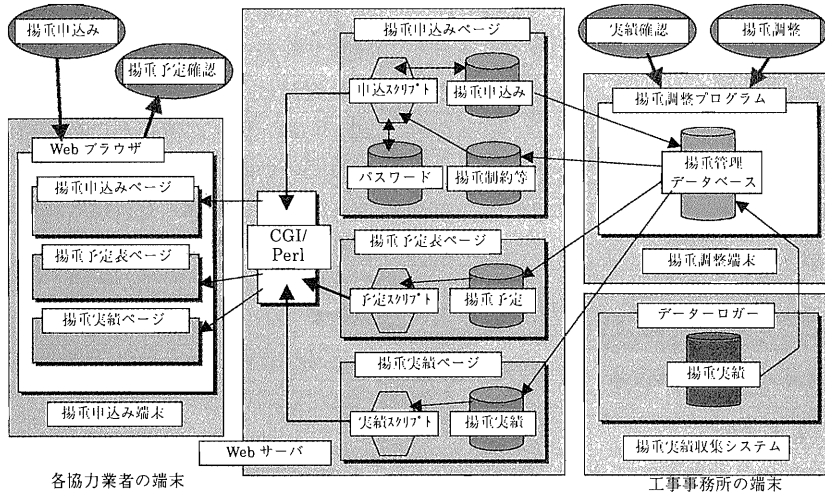


図-3 Web 揚重管理システムの構成

の申込みを行う。

Webサーバは、揚重申込み端末での操作に応じてスクリプトを実行する。スクリプトにはCGI/Perlを利用するため、一般のインターネットサービスプロバイダーが提供するホスティングサービスを利用できる。

揚重調整端末は揚重調整を行うプログラム用のパソコンで、工事事務所に設置する。揚重調整端末では、Webサーバから1週間分の揚重申込みデータを取込み、一定の手法に基づく自動調整と簡単なマウス操作による手動調整で揚重予定を作成し、サーバに揚重予定として転送する。また、事前に揚重機のクライミングや工事現場の休日等

の制約条件を作成することで、サーバに揚重制約として転送する。揚重実績収集システムより得られた揚重実績データを受取り、揚重予定と比較して表示できる。

図-4は、申込み状況を示したカレンダー表示画面で、揚重機を使用したい日を選択することで図-5に示すバーチャートによる詳細な申込み状況を確認できる。また、写真-1のように、携帯電話からもWeb揚重管理システムの利用が可能であり、協力会社の担当者は工事現場に直接赴くことなく、外出中にも揚重予約状況の確認や予約申込みが実現できる。



図-4 カレンダーによる入力画面

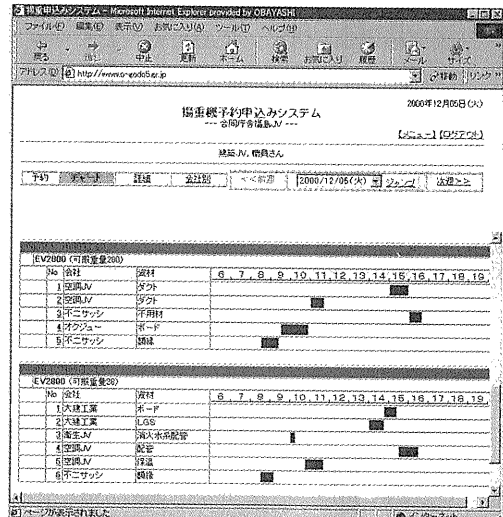
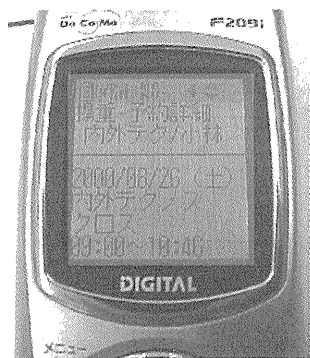


図-5 予約状況表示画面



写真一 携帯電話の画面

(2) システムの運用

システムを導入した工事事務所では、JV 職員と協力会社担当者間で1週間に一度、次週の揚重予定を調整するための揚重調整会議が開かれた。この打合せに先立ち、揚重管理者はWebサーバから揚重申込みをダウンロードし、同時に当該期間(1週間分)の申込みを締切る。揚重予約の調整後は揚重予定をWebサーバにアップロードした。打合せ時には、パソコンの揚重予定画面を会議室のスクリーンに投影し、関係者に周知させた。この他、揚重申込みの受け付けは3週間前から実施し、マスター情報の更新や揚重実績のアップロードは随時行った。

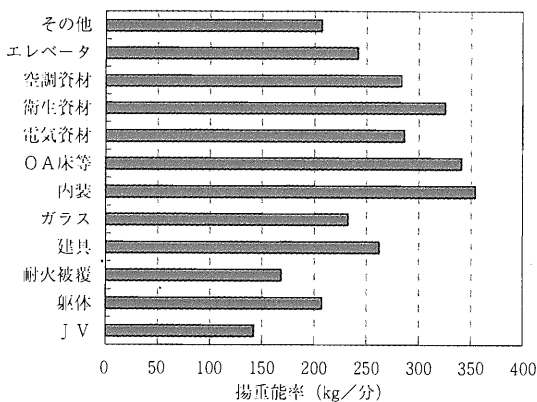
5. 適用結果

(1) 自動化設備

2000年10月から2001年3月までの、約6ヵ月間の揚重実績収集システムに蓄えられたデータを分析することで自動化設備の適用実績を評価した。

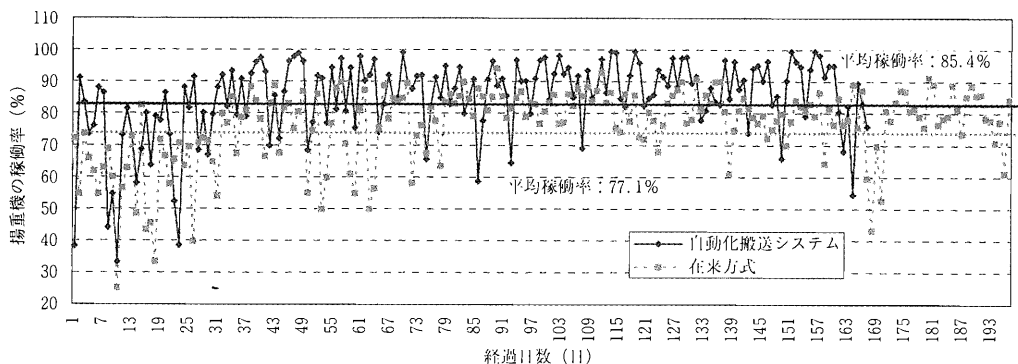
揚重作業のピーク時には、1日平均2時間程度の残業で作業を消化した。自動化搬送システムで扱った資材は、内装資材の約8割となった。

図一6は、揚重対象ごとに揚重重量の合計値を揚重時間の合計値で除した数値を比較したものである。つまり、揚重する資材の比重や荷姿などの特性に左右されるものの、単位時間当りの揚重重量の平均値であり、数値が大きいほど効率よく作業が実施されたと判断する目安となる。AGFや自動移載装置といった自動化設備によって揚重した内装材の揚重能率は高かった。



図一6 対象資材ごとの揚重能率

揚重作業の効率を評価する指標として、揚重機の稼働率を分析した。ここでの稼働率の定義は、1日当りの揚重時間を1日の正味作業時間で除した値とした。図一7に稼働率の日ごとの推移を、在来の揚重方式による同規模の物件での実績と比較して示す。自動化搬送システムを用いた揚重機の稼働率は85.4%、在来方式は77.1%となった。これらの値は、過去の施工実績に比べ極めて高い



図一7 揚重機の稼働率の推移

値である。いずれの工事においても揚重作業を専任するチームが従事したため、揚重機の空き時間にも臨機応変に作業を遂行した結果等によると考えられる。自動化搬送システムの適用現場では、揚重機の空き時間にも立体ラック棚に収納された資材を揚重できるなど、融通性がより高くなった。

揚重実績に関する各種の指標を、在来方式を100とした割合で示したものが図-8である。

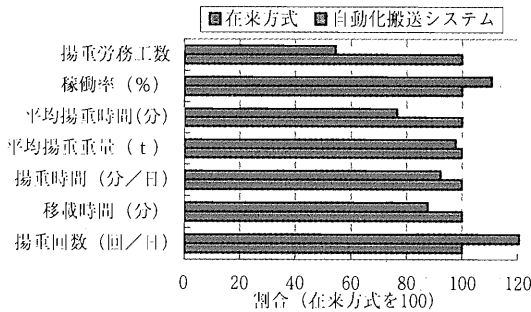


図-8 在来方式との比較

在来方式と比べ平均揚重重量は同等であったものの、他の揚重実績は在来方式を上回っており、効率的な揚重作業が実現したことが分かる。特に自動化設備の導入により、揚重関連労務を約45%省力化した。これらの指標を基に、単位時間当りの揚重量を算出すると、自動化搬送システムは在来方式の約1.44倍となることが分かった。

(2) Web 揚重管理システム

2000年9月から2001年3月までの約7ヵ月間にわたるWeb揚重管理システムの利用状況について、サーバに蓄えられたログデータを分析した。この結果、アクセス件数は約2,700件で32業者が利用し、1週間当たり平均で約84回となり、1日最大で45件のアクセスがあった。設備関連業者が55.4%を利用し、建築仕上業者の利用割合は26.4%となった。工事事務所内のパソコンからのアクセスが7%となり、大半が協力業者のバックオフィス等からの利用となった。

図-9に時間帯別のアクセス状況を示す。工事現場の定時作業時間帯(午前8時から午後5時)でのアクセスは全体の約6割であったが、深夜や早朝といった時間外や、工事事務所の休業日にも全体の2.0%程度の予約受けが行われていた。

以上のように、「いつでも」「どこからでも」揚

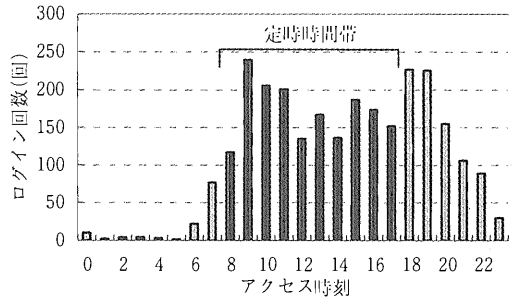


図-9 アクセス時刻の分析結果

重予約が可能となり、インターネットを利用した効果が活かされていた。この結果、揚重管理者による予約データの入力や揚重調整作業時間が従来の約20%となり、業務が大幅に軽減された。

システムのユーザに対して実施したアンケート調査結果の一部を表-2および図-10に示す。

表-2 アンケート対象者の概要とアクセス回数

	質問項目	平均	範囲	単位
一般	年齢	34.0	22~50	歳
	就業年数	12.3	1~28	年
	パソコンの経験年数	2.9	0~8	年
	インターネットの経年数	1.4	0~3	年
	会社へのパソコン導入年数	8.3	1.8~13	年
	会社でのインターネット契約年数	2.5	1~6	年
揚重予約	会社でのパソコン使用時間	3.7	0.3~12	時間
	1回当たりのアクセス時間	10.7	0.5~20	分
	申込み状況確認のためのアクセス回数	3.1	1~14	回/週
	新規揚重予約のためのアクセス回数	2.2	1~7	回/週
	揚重予定確認のためのアクセス回数	1.6	1~5	回/週

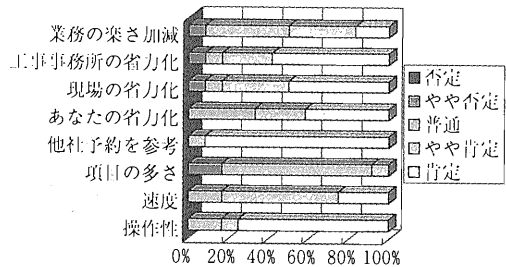


図-10 アンケート調査結果

図-10は、図中の項目に関する設問を否定から肯定までの5段階で評価した回答の割合を示す。図のように「否定」に対する回答は全くなかった。表-2のように、インターネットやパソコンに対する経験の浅いユーザが多かったにもかかわらず、1回当たりのアクセス時間は単純平均で約10分であり、操作性や速度に対する評価は高かった。また、ユーザの大半は、他社の予約状況を参考に

しながら自社の揚重予定を計画しており、情報共有によるメリットが活かされ、工事事務所での揚重調整業務が軽減した。システム利用による省力化についても肯定的な回答が多く、高い評価を得た。

6. おわりに

仕上・設備資材の搬送作業の効率化を目指し、ITを利用して自動化搬送システムの開発を進めてきた。新規開発の自動化設備によって狭所のスペースにおいても夜間の自動揚重作業も含めたフレキシブルな搬送を実現し、インターネットによる情報共有によって揚重管理業務を軽減した。

Web揚重管理システムは、躯体工事の鉄骨や型枠、鉄筋といった資材を扱うクレーン等の揚重機の予約や、資材を現場に運び込むトラックなどの搬出入管理にも利用できるように改造を加え、3つの工事現場に適用している。

今後、自動化搬送システムの適用対象範囲を、さらに拡大するように改善していく所存である。

J C M A

《参考文献》

- 1) 浜田, 他: 建築工事における搬送作業の自動化に関する研究(その1), 搬送作業の実態把握と評価の方法, 第15回建築生産シンポジウム論文集, 1999年7月
- 2) 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, 1996年2月
- 3) 浜田, 他: 建築工事における搬送作業の自動化に関する研究(その2), 自動化搬送システムの開発と適用結果, 第17回建築生産シンポジウム論文集, 2001年7月

【筆者紹介】

浜田 耕史(はまだ こうじ)
株式会社大林組
技術研究所
建築生産システム研究室
主任研究員



山山 敦弘(どうやま あつひろ)
株式会社大林組
技術研究所
建築生産システム研究室
研究員



建設機械図鑑

本書は、日本建設機械要覧のダイジェスト版として、写真・図版を主体に最近の建設機械をわかりやすく解説したものです。建設事業に携わる方々、建設施工法を学ばれる方々そして一般の方々に、建設事業に関心のある方々のための参考書です。

A4判 102頁 オールカラー 本体価格2,500円 送料600円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8(機械振興会館) Tel.03-3433-1501 Fax.03-3432-0289