

貨客混載による鉄道輸送の手荷役解消及び機械化の推進に関する調査研究

【2023年度 KR-100】

日本大学 生産工学部 マネジメント工学科 教授
鈴木 邦成

1. 調査研究の背景

働き方改革関連法の施行により、物流業界でも残業時間の上限規制が導入され、その結果、トラックドライバー不足が深刻化している。

そこでトラック輸送に鉄道輸送を組み合わせるモーダルシフト輸送が推進されてきたが、さらなる輸送効率化対策として貨客混載¹⁾の導入が検討されている。これまでも物流効率化と公共交通維持を念頭に過疎地域に関わる事業での導入が有力視されてきた²⁾。

貨客混載とは、貨物と旅客を同じ列車や車両で輸送することで、その本格的な導入により、貨物トラックの幹線輸送台数などの削減が期待できる。また、旅客輸送の空席や空きスペースを有効に活用することも可能になる。加えて、交通手段の効率化により、排出されるCO₂などの排出量削減や交通渋滞の緩和なども期待されている。

本研究ではその点を踏まえて、貨客混載における鉄道輸送の手荷役解消とその対策としての機械化の可能性を検証することとする。さらに本研究では関連マテハン機器の特性について緻密な調査研究を行うことで貨客混載輸送の効果を最大化する方向性を示す。

2. 調査研究の概要

(1) 旅客車両・インフラの活用

鉄道の貨物専用輸送車両では増え続けるモーダルシフト輸送などに対応できないことから旅客車両を貨物輸送に活用することで既存の鉄道インフラの有効活用を図ることができる。貨客混載はその発想を具現化した輸送モデルで、貨物専用線路や通運施設

の増設などを行う必要がないという大きなメリットがある。

導入の時間帯については、旅客車両がオフピークとなる時間帯や閑散期を活用する。また、帰省シーズンなどの旅客需要が大きい時期には旅客輸送を優先し、需要が小さい場合には貨物輸送に転用することも検討に値する。

(2) 貨客混載の導入プロセス

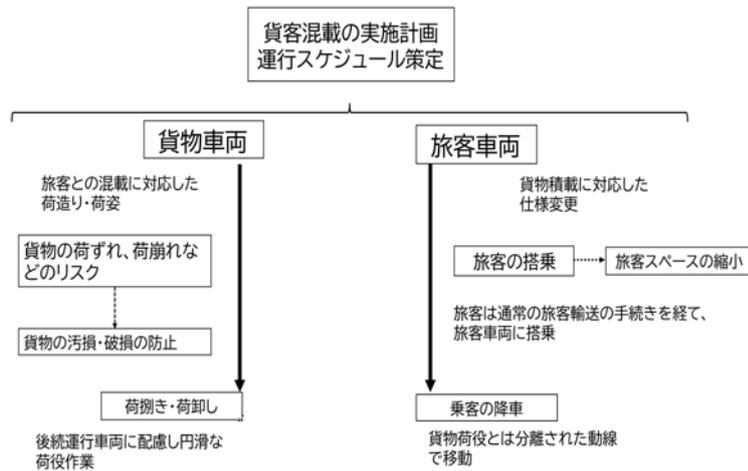
貨客混載の導入は図1のプロセスで行われる。

まず旅客輸送と貨物輸送では運行スケジュールが異なることを踏まえて、貨客混載の実施計画、並びにスケジュールを策定する。需給バランスに配慮して貨物と旅客の車両構成、積載量、混載比率を決定する。なお、必要に応じて、旅客車両を貨物仕様に変更し、積載する貨物のスペースを確保する。

運行スケジュールが決定したら、該当する貨物についての荷捌き、積み込み作業などの荷役が行われる。貨物は旅客の妨げにならないかたちで積み込まれ、目的地に向けて輸送されることになる。同時に、旅客の搭乗も行われる。旅客は通常の旅客輸送の手続きを経て、旅客車両に乗る。

輸送に際しては、貨物の荷ずれ、荷崩れなどに注意する。旅客車両を貨物車両に変更した場合、貨物の積み付けや固縛が適切になされず、貨物が破損、汚損などの損害を受けるリスクがあることを考慮する。

目的地に到着した貨客混載車両は旅客を降車させ、同時に貨物を積み卸すことになる。そのプロセスにおいて後続の運行車両のスケジュールに食い込まないように円滑に設定時間内での荷卸しを行う必要がある。また荷卸しに際して、破損や汚損などが発生しないように荷ずれ、荷崩れには十分な注意を払い、



出典：筆者作成

図1 貨客混載の実行プロセス（例）

オペレーションを遂行する必要がある。

以上のプロセスをまとめたものが図1となる。貨客混載を効果的に実施し、旅客と貨物の両方の輸送を効率的かつ安全に行う必要があるといえよう。

なお、貨客混載の実行プロセスを客混載のプロセスをコスト最小化をモデル化すると、次のようになる。

（目的関数）

$$\text{Min} \rightarrow \sum_{t=1}^T (C_{transport} T_t + C_{handling} L_t + C_{operation} U_t) \quad (1)$$

ここで、

T_t : 時刻 t における輸送コスト

L_t : 時刻 t における荷捌きコスト

U_t : 時刻 t における積み込み・積卸しコスト

$C_{transport}$: 1 ユニットの貨物を輸送するための単位輸送コスト

$C_{handling}$: 1 ユニットの貨物を荷捌きするための単位輸送コスト

$C_{operation}$: 1 ユニットの貨物を積み込み・積卸しするための単位輸送コスト

なお、制約条件としては、次のように設定できる。貨物の積み卸しタイミング制約は、貨物が車両に積み込まれるタイミングが、その車両の到着時間以降でなければならないという制約を課す。車両が目的地に到着してから貨物を積み込むことができる時間を示す制約で、貨物が事前に準備されていて、車両が到着した時点ですぐに積み込むことができることを意味する。

貨物積み卸しタイミング制約は次のように表現される。

この制約条件は、全ての時間 t において、作業完了時刻が車両の到着時刻以降でなければならないことを示している。

$$T_{loading,t} \geq T_{arrival,t} \forall t \quad (2)$$

ここで、

$T_{loading,t}$: 時刻 t における貨物の積み込み完了時刻

$T_{arrival,t}$: 時刻 t における車両の到着時刻

（貨物輸送量の制約条件）

車両が持つことができる貨物の最大容量や旅客の最大収容人数に関する制約条件として、輸送量や積載量に関する関係を数式で表すと、

$$\sum_{t=1}^T C_t \leq M \quad (3)$$

ここで、

C_t : 時刻 t における貨物の量

M : 車両の積載可能量

（旅客輸送量の制約条件）

車両の過密や乗客の快適性を考慮し、安全な旅客輸送を確保するために、車両が収容できる旅客の最大人数を超えないようにする制約条件を設定すると、

$$\sum_{t=1}^T P_t \leq N \quad (4)$$

ここで、

P_t : 時刻 t における旅客数

N : 車両の許容可能人数

3. 考察

無人搬送車（AGV：Automated Guided Vehicle）³⁾や（AMR：Autonomous Mobile Robot）の大規模な導入により、人件費削減などのコストメリットを享受できる。加えて貨客混載における荷捌き、荷役の効率化、さらには作業時間の短縮などの生産性の向上、荷捌きなどの荷役品質の向上などが期待できる。

事例としては仙台駅の構内物流において、JR東日本と東北鉄道運輸が連携し、構内店舗への商品配送に2種類のAMRが導入されている。ここでいう2種類とは縦持ち対応のAMRと横持ち対応のAMRである。縦持ち対応のAMRは階下から上層階への運搬に用いられる。搬入用台車などを下部から支え、設定した運搬ルートを走行する。仙台駅では構内店舗への商品の運搬に用いられている。縦持ち対応のAMRを導入することで多層階間の作業者の作業時間・荷役負荷の軽減が可能になり、AMRの手作業での持ち運びができるので人間作業者との協働作業を実施できる。加えて旅客と鉄物の動線が交錯する複雑な駅構内のレイアウトに対応した運行システムの構築が必要となる。

横持ち対応のAMRは構内外の施設の荷物の自動運搬を行うために導入されたものである。横持ち対応のAMRではプログラム制御により自動運行が可能であることから、作業員間の移動距離・運搬の軽減が可能になる。駅構内外の長距離運搬の自動化が可能となるのである。縦持ち、横持ちのそれぞれの特性を念頭に導入するAMRは異なる種類となるが、縦持ち対応のAMRについては、台車やかご車の下部からリストアップする仕様であることから作業員が必要に応じて持ち運びできる仕様のものを用いる。また横持ち対応のAMRについては、作運搬動線が長くなることからプログラミングにより自律的な運搬が可能な仕様のものが適している。

ちなみに東京駅ではリニアモーターで自律搬送する次世代ロボット倉庫の導入について実証実験が行われている。

自動運転による鉄道車両の運行に合わせて、駅構内の全動線をクラウド型の情報システムで可視化したうえで、自動化していくことが今後の大きな流れとなってくる可能性は高い。

4. まとめ

旅客輸送に貨物輸送を組み込んだ貨客混載輸送における荷捌き、荷役作業の自動化について、AMRの導入により、駅内の縦持ち運搬、並びに駅内外の横持ち運搬を中心とした鉄道荷役のより一層の効率化の方向性が確認できた。ARMの動線、並びに荷姿の標準化を進めていくのである。

貨客混載輸送が増加すれば、旅客の動線と並行して貨物の動線を効率的に確保し、構内運搬の効率化を実現する必要がある。AMRを中心とした自動化マテハン機器にDXを組み合わせることで、手運搬・手作業の軽減、及び人件費などのコスト削減を実現できるのである。□

謝辞

本研究は一般財団法人研友社から「鉄道技術等に関する調査研究の助成事業」である「2023年度調査研究課題」として助成を受けたものである。

参考文献・引用文献

- 1) 国土交通省：貨客混載を通じた自動車運送業の生産性向上について，URL:https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_tk4_000032.html（参照日：2024年3月30日）
- 2) 吉武哲信，名和恵里，白石悦二：我が国で実施されている貨客混載事業の近年の傾向，交通工学研究発表会論文集，42巻，pp.855-860，一般社団法人交通工学研究会，2022
- 3) 鈴木邦成，中村康久：シン・物流革命，幻冬舎，pp.98-101，2022