

ユニットロードシステムへの取り組み

— 建材メーカーにおけるホワイト物流に対する取り組み —

矢野 夏子, 四柳 博之, 池水 憲治, 指尾 健太郎

国民生活や企業活動に不可欠な物流の担い手であるトラック運転手の不足は極めて深刻で、トラック運転手がいなくとも物が運べないこともしばしば生じている。「ホワイト物流」推進運動とは、国土交通省、経済産業省、農林水産省が主導する取り組みで、トラック運転手の深刻な人手不足に対応し、物流の安定的な確保を目的とするものである。本稿では、YKK AP 株式会社におけるホワイト物流に対する取り組みの一部でもあるパレットを用いたユニットロードシステムへの取り組みについて紹介する。

キーワード：組合せ最適化, 局所探索法, 3次元箱詰め問題, パレット積み付け, パレット輸送, ホワイト物流

1. はじめに

物流事業者を取り巻く経営環境は、「労働者、特にドライバー不足・高齢化」「長時間労働・低賃金の問題」「環境問題」「荷量の爆発的な増加」等々、厳しい状況が続いている。各社さまざまな自動化・省人化の取り組みが進められてきた。近年では、eコマースの普及による荷物の取扱量の増加が続いてきたが、そこに新型コロナウイルスによる外出自粛が重なったことで、荷量の増加に拍車がかかった。日本国内の物流インフラ自体が減少傾向にある中で、荷量の増加に対応するためには、省人化・自動化に加えて効率化の同時達成が重要な状況であり、喫緊の課題であるといえる。

株式会社構造計画研究所（以下、構造計画研究所）では、企業の物流に関するさまざまな問題に対してオペレーションズ・リサーチ手法を用いたソリューション [1, 2] を適用することで、顧客がより良い意思決定を実現することを支援してきた。物流における意思決定は、その観点・粒度によってさまざまな問題になって現れる。構造計画研究所が相談を受ける問題については、経験的に下記のように分類される。

- 物流ネットワークの改善
- 物流拠点（倉庫など）の配置計画
- 配送計画問題, 最短ルーティング

やの なつこ, いけみず けんじ, さしお けんたろう
株式会社構造計画研究所オペレーションズ・リサーチ部
〒164-0011 東京都中野区中央 4-5-3
natsuko@kke.co.jp
よつやなぎ ひろゆき
YKK AP 株式会社ロジスティクス部
〒936-8510 富山県滑川市杉本 3003
h.yotsuyanagi@ykkap.co.jp

- トラックへの積み付け
- ドライバの勤務シフトの最適化

本稿では、上記のうちトラックへの積み付け問題に関するソリューションを用いた事例について紹介する [3]。

2. 建材メーカーにおける課題

2.1 概要

YKK AP 株式会社（以下、YKK AP）では、窓やサッシ、玄関ドアやエクステリア建材、インテリア建材などが商品になる。サイズのみならず形状も多様であり、板状の製品もあれば、長さが5~6mにも及ぶ荷物もある。また、重量のある製品や、壊れやすい製品も多く、荷役作業の難易度は比較的高いといえる状態であった。それでも、かつてはいつでも輸送手段を容易に確保できる状態であったのだが、物流業界の事情は大きく変わり、輸送手段を簡単には確保できなくなっている。そのような状況においても、顧客への商品納入サービスレベル（短リードタイム、ジャストインタイム、小ロット、高品質など）の維持・向上を図ることは必須であり、物流に関する体制の見直しが必要な状況であった。

2.2 ばら積みの時代

これまでのトラックによる幹線輸送（工場から配送センターまでの中長距離輸送）では、ばら積み（直接トラック荷台へダンボール梱包製品を人手で積み込むこと）を行うため、大変積載効率は高いが、積み込み時間がかかり、ドライバーの拘束時間も長くなっていた。たとえば、10tトラックに人手でばら積み荷物を積み付けるのに、3時間もかかる場合がある。物流業者にとっては、手間のかかる荷物であり、単価交渉も多く発生していた。また、積み付けのスキルも必要で属人

化してしまい、新規参入障壁にもなっていた。

2.3 パレット化

上記課題を解決するために、ユニットロードシステムの導入を進めた。ユニットロードシステムとは、さまざまな形状の荷物を個別に扱うのではなく、パレットやコンテナなどの単位にユニット化し、輸送や保管を効率化する仕組みのことを言う。実際には、YKK AP 自らが、パレットへ積み付け（パレタイズ）し、フォークリフトによるトラックへの積み降ろし（バンニング、デバンニング）を行うことにより、物流事業者へは輸送のみを委託する車上受け渡しへの転換を行った。トラックの運行効率は飛躍的に向上し、運行費用の低減と品質向上は達成できたが、一方で積載効率の低下や、荷作り労務費やパレット製作費の増加など、パレット化にはデメリットがあった。特に、荷物の形状、サイズが複雑なことから、積載効率よくパレットに積載するのは難しい。また、パレット数が増えたとトラックの台数増加にもつながり、運賃上昇につながっていた。

2.4 最適積み付けシステムの導入

そこで、積載効率の向上、トラック手配台数の適正化のために、構造計画研究所の3次元積み付けシステムを用いることになった。具体的には、前日のトラック手配のときに、パレットの枚数とその荷姿、およびトラックの台数とその荷姿を計算する仕組みを導入することにした。

3. 3次元積み付けシステム

3.1 概要

構造計画研究所の3次元積み付けシステムは、トラックの荷台やコンテナの中に、指定された荷物を可能な限り空きスペースが少なくなるように自動配置するソフトウェアである（図1）。

取り扱い可能な荷物の形状が直方体のみであるが、

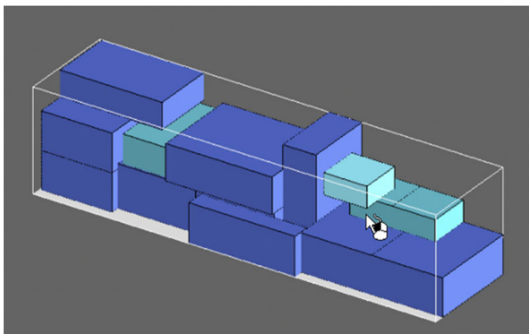


図1 積み付け問題のイメージ

下記のようなさまざまな積載制約を考慮することが可能である。

- 段積み制約（上積み禁止／平置きなど）
- 回転の制約（横倒し可／不可、天地無用など）
- 進行方向に対する積載方向の制約

荷物情報、パレット・トラック・コンテナなどの入れ物の情報を入力条件として、荷台に積載できる体積を最大化することを目的とした積載プランを作成する。荷物は直方体とし、そのサイズ（縦×横×高さ）、数、積載条件を荷物情報として扱う。コンテナ・パレット情報としては、積載可能空間の形状、サイズ、数を扱う。

3.2 目的関数

目的関数は以下のとおりとし、これを最大化する問題として解く。

$$\begin{aligned} & \text{積載体積} + \text{優先荷物の積載数} \times \alpha \\ & - (\text{パレット} \cdot \text{コンテナ}) \text{数} \times \beta \\ & - \text{重心位置の高さ} \times \gamma \end{aligned}$$

上式において、 α, β, γ は定数である。積載体積が等しい解がある場合には、さらに荷物の優先度、使用コンテナ数、重心位置を評価するようにこれらの定数を設定し、より良い解を探索する。なお、積載条件や禁止エリアについては、局所探索法および詰め込みアルゴリズムにて考慮する。

3.3 詰め込みアルゴリズム（BLD法）

詰め込みのアルゴリズムとして、BL法（bottom left algorithm）[4]を3次元に拡張したBLD法（bottom left depth algorithm）[5]を適用した。BL法とは、「積載対象荷物に番号をつけ、その順に従って、なるべく下（bottom）、同じ高さであればできる限り左（left）に詰め込む、ということを繰り返して積載する方法」である。BL法の手順は以下のとおり。

1. 初期状態（図2）では、長方形の左下の点が唯一の積載候補位置となる。荷物の左下の点を置く位置の候補を「積載候補点」と呼ぶ。
2. 候補点に荷物1を積載する。
3. すると、積載候補点は図3のように2点になる。優先度はA、Bの順となる。
4. 2点の候補点の優先順位はA、Bの順であるので、Aの位置に荷物2を積載する。Aに積載できない場合は、Bに積載する。
5. すると、積載候補点は図4のように3点になる。優先度はC、D、Bの順となる。
6. これをすべての荷物に対して繰り返す。

この手順を3次元に拡張したものがBLD法である（図5）。BLD法は「積載対象荷物に番号をつけ、その

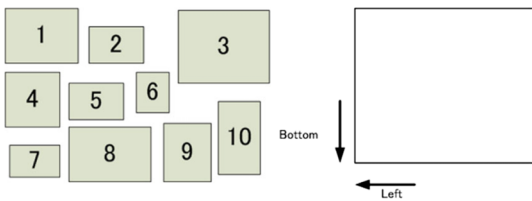


図2 初期状態 (左が荷物, 右は積載スペース)

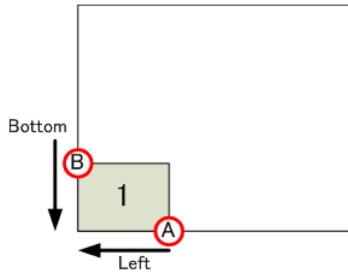


図3 荷物1 積載後の状態

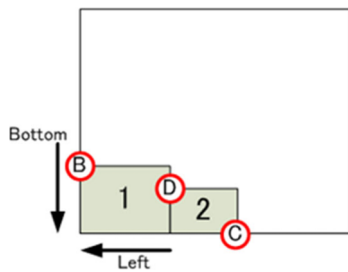


図4 荷物1 と2を積載後の状態

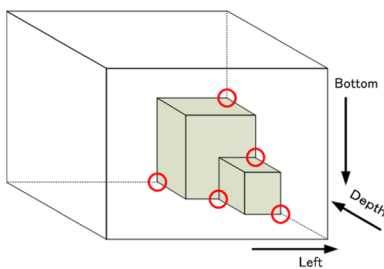


図5 BLD法

順に従って, なるべく下 (bottom), 同じ高さであればできる限り左 (left), できる限り手前 (depth) に詰め込むというロジックである.

3.4 BLD法の改良

BL法, およびBLD法では, 荷物の並び順が解の良し悪しに大きな影響を与える. そこで, BLD法の改良として, 局所探索法 [6] を用いて, より良い並び順を探索することにする. ある荷物の並び順に対し, ス

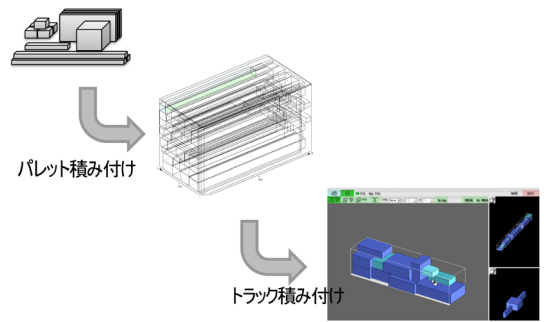


図6 パレタイズ・バンニング計算イメージ

ワップ近傍操作 (二つの荷物の順番を入れ替える操作) をする. また, 指定した反復回数だけ, 荷物の並び順 (初期解) を変えてこの操作を繰り返す.

4. 3次元積み付けシステムの導入

4.1 概要

3次元積み付けシステムを, パレタイズの計算と, バンニングの計算の両方に適用し, 荷物の情報を入力とし, 必要なトラック台数を算出するシステムを導入した. 計算イメージを図6に示す.

4.2 パレタイズ

まず, パレタイズの計算は荷物情報とパレットの積載空間を入力とし, すべての荷物を積み付けるのに必要なパレットの枚数を算出する. YKK APの荷物は, 前述したようにさまざまな形状の荷物があるため, BLD法をカスタマイズした. 特に, 長尺物はパレットをはみ出して (オーバーハングして) 積み付けることを許容すること, 商品への追い積みは品質上問題ないようにすること (図7) などの条件を考慮することとなった.

4.3 バンニング

次に, パレタイズの計算結果を受けて, すべてのパレットを積み付けるのに必要なトラックの台数を算出する. 同じサイズのパレットにパレタイズしているが, オーバーハングしているパレットもあるため, パレットの出来上がり寸法もさまざま存在している. また, コンテナのような箱状ではないが, パレットには支柱がある (図7) ため, パレットを積み重ねることができる. これらの条件を考慮して, トラック台数を最小にする積み付けロジックを新たに構築した. ただし, パレタイズの計算結果と, 現実のパレタイズした荷姿には, 差異が生じる可能性が高く, パレットの細かい寸法を気にしながらバンニング作業をするのは現実的ではない. そのため, パレットの出来上がり寸法は, 0.5 m単位で表現し, バンニング計算を行うようにした.



図7 長尺物の積み付け

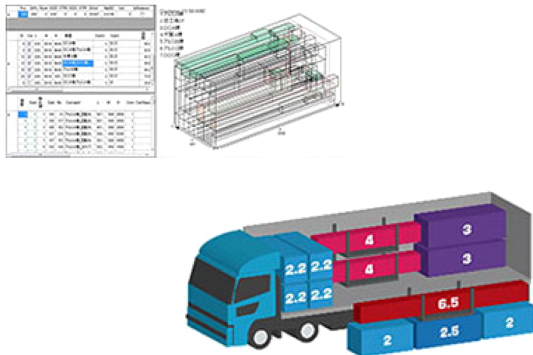


図8 パレット・トラックの計算結果 (荷姿)

4.4 システムの利用方法

本システムは、翌日分のトラックの手配を決めるために、日々利用される。計算結果を活用し、配車担当者や荷役作業者は作業をすることになる。計算結果には、パレットとトラックの荷姿をビジュアルに表示したものと、荷物の詳細情報や、パレットとトラックについては積載率や総重量などの集計情報が含まれる (図8)。

荷役作業者は完璧にこの荷姿を再現するわけではないが、全体像も含めて参考にしながら積み付け作業を行う。配車担当者は、計算結果をもとに、ある程度の変動を考慮しつつ、トラックを手配している。

5. 導入効果

5.1 コストダウンの実現

本システムにより、荷物情報さえあれば、必要なパレット枚数、必要なトラック台数が算出でき、無駄なトラックの手配がなくなった。本システム運用前に比べて17%のコストダウンを実現した。ばら積みのパレット化した際に、単価やコストが上昇していたが、その分を吸収したことになる。

5.2 空きスペースの見える化

本システムの作成する計画は、手配に必要なトラック台数だけではなく、どうしても発生する空きスペースも同時に見ることができる。工場間の輸送には、製品のほかに空パレットや資材など、スケジュールが未定の荷物がある。空きスペースを見ながら、これらの荷物の発送の手配もしやすくなったことも効果と言える。

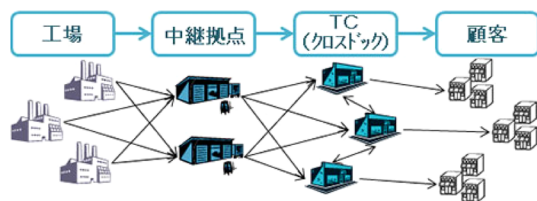


図9 幹線輸送・2次配送の効率化

6. 今後の展開

YKK APでは国土交通省・経済産業省・農林水産省が推進する「ホワイト物流」推進運動 [7] に賛同しており、自主行動として以下を掲げている [8]。

1. パレット等の活用
2. 発荷主からの入出荷情報等の事前提供
3. 集荷先や配送先の集約
4. 納品日の集約
5. 異常気象時等の運行の中止・中断等
6. 車両の大型化 (W 連結トラックの積極的活用など)

本稿に記載した取り組みは、上記の1. パレット等の活用に直結している。上記の行動のほか、ロジスティクス全体の効率化につながる活動を、継続的に行っている。

当該システムは、荷物をデジタル管理できるため、工場から各地域までの「幹線輸送」、そこから工務店や施工現場への「2次配送」に対しても、さまざまな施策の適用が現実的になっている (図9)。将来的には、社内外との共同配送やロボットによる構内作業、自動運転車による輸送など、さまざまなテーマを見据えている。

7. おわりに

さまざまな課題と施策がある中、費用対効果の高い解決策を選ぶには、現状分析と事前検証が必要である。これまでにさまざまな会社と接してきたが、施策に取り組みたい気持ちはあるが、必要なデータが存在しないため、分析ができないことがある。もし、新たにデータを収集、作成することにしても、非常に手間がかかることも多く、思うように進まないことは多い。荷主と物流業者のように会社が複数ある場合には、より手間がかかる。しかしながら、分析や効果検証を曖昧にして、施策実行だけを行うのはリスクが大きいし、施策実行後にPDCAのサイクルを回すためにも、計画と実績を正しく評価できるデータを管理することは非常に重要といえる。YKK APでは、システムでデー

タが管理されているのももちろんのこと、データのメンテナンスにも日々注力している状態であるため、最適化システムが有効に稼働していると筆者らは思っている。

物流業界は、ここ何年も、人手不足と叫ばれている。しかしながら、国土交通省の自動車輸送統計調査によると、営業用トラックの平均積載率は4割程度であり、輸送能力の6割は未使用のまま活用されていないことになる。これは配送の時間に関する制約が強いことや、往復での荷物が無いことなどが原因といえる。また、荷役時間が長いことも、結果的にはトラックの輸送能力を低下させていることになる。これらを解決するには、荷主と物流業者のお互いが協力して改善施策を進めていく必要がある。本稿のようなパレットを活用した輸送の効率化は、このほんの一部でしかない。ただ、パレット輸送であれば、中継輸送のような施策が可能になる。日々の荷量に合わせて中継拠点を選び、荷物を集約すれば、輸送効率をさらに上げることができる。また、中継輸送を用いれば、長時間の拘束、過労運転が問題となりやすい長距離の輸送を減らすこともできる。これまでのソリューションにとらわれずに、物流業界の課題に取り組みたいと考えている。

参考文献

- [1] 株式会社構造計画研究所, 「関連ソリューション紹介最適積み付けシステム」, http://www.kke.co.jp/orsim/iCaps_jirei.html (2021年4月1日閲覧)
- [2] 株式会社構造計画研究所, 「積付け・配送計画・動態管理」, <https://www.kke.co.jp/logistics/case-study/delivery-planning.html> (2021年4月1日閲覧)
- [3] 株式会社構造計画研究所, 「事例紹介」, https://www.kke.co.jp/solution/casestudy/decision.making/logistics_ykkap.html (2021年4月1日閲覧)
- [4] 今堀慎治, 梅谷俊治, “切出し・詰込み問題とその応用 (2) — 長方形詰込み問題 —”, オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, **50**, pp. 335–340, 2005.
- [5] 矢野夏子, 齊藤努, 小玉乃理子, “航空貨物コンテナの最適詰め込みと大都市災害における緊急物資の最適配送計画”, 第19回 RAMP シンポジウム論文集, 2007.
- [6] 柳浦睦憲, 茨木俊秀, 『組合せ最適化—メタ戦略を中心として—』, 朝倉書店, 2001.
- [7] 「ホワイト物流」推進運動, <https://white-logistics-movement.jp/> (2021年4月1日閲覧)
- [8] YKK AP, 「「ホワイト物流」推進運動に賛同し自主行動宣言を提出～物流の生産性向上や働き方改革により、持続可能な物流の実現を目指す～」, https://assets.ykkap.co.jp/uploads/tmg_block_page_image/file/244/20191114.pdf (2021年4月1日閲覧)