自動車部品の混載輸送における輸送計画モデル

岡田 和義，佐藤 康治，久保 幹雄

1．はじめに

自動車部品輸送において，複数の部品メーカーの荷を集配センターに集荷し大型トレーラに混載したうえで要求元工場まで直送する混載輸送を検討している．この混載輸送は輸送費削減を可能にするとともに，トラック走行台キロの削減によりエネルギー消費量やCO_2排出量の削減といった環境・エネルギー問題の改善にも効果があると考えられる．本論文では，整数計画法を用いた混載輸送における輸送計画モデルの作成と実施効果の試算について報告する．

2．自動車部品の混載輸送

自動車部品の混載輸送について，その概念を図1に示す．約100km圏内に点在する部品メーカーの荷を，地域内に設置した集配センターに集荷する．集配センターにおいて，集荷された複数メーカーの荷を19トン積み大型トレーラに混載する．自動車部品は，エンジンやミッションなどの鉄製の重量物からシートやメーターパネルなどの樹脂製の軽量物まで多岐にわたっているため，複数のメーカーの荷を積み合わせることにより重量，容積ともに高積載率を実現する可能性がある．集配センターから日産の納入工場への幹線輸送は大型トレーラにて行う．従来は各部品メーカーが個別に輸送業者と契約し，4トンあるいは10トントラックにていったん納入工場付近のデポ（保管庫）に納めた後，デポ業者が工場の納入条件にもとづいて多数回納入を行っていた．

このようなデポ輸送を混載輸送に変えることによるメリットは以下の点が考えられる．

・荷の混載による車両積載率向上

・大型トレーラによる輸送効率向上

・デポ廃止による保管費等の削減

上記の輸送費削減効果とともに，社会的な効果としてトラック走行台キロ削減によるエネルギー消費量や排出ガスの削減が期待できる．

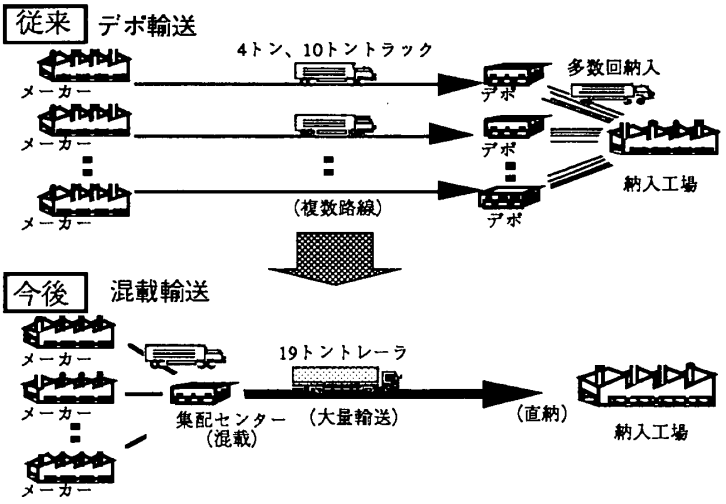

図1　自動車部品の混載輸送

3．輸送計画モデルの作成

3.1　輸送経路の作成

静岡県富士・浜松地区での混載輸送を今回の対象とした．同地区内には日産の富士工場があり，周辺に関連部品メーカーが集まっている．部品メーカーの部品は主に富士工場に納入されるが，それ以外の当社各工場へも納入されており，これらの荷が今回の混載輸送の対象になる．

対象となる部品メーカー17社の概略の位置と出荷荷量などを図2に示す．以下のような前提条件で輸送経路の作成を行った．

・集荷は10トントラックで行う．

・幹線輸送は最大19トントレーラで行う．

おかだ　かずよし，さとう　こうじ
日産自動車㈱社会・商品研究所
〒104-23 中央区銀座6-17-1
くぼ　みきお　東京商船大学

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

・原則として高速道路を優先して利用する．
・集荷は集配センターから遠いメーカーから集め，センターに近づくようにルートを設定することとする．
・集荷トラックは複数の部品メーカーに立ち寄り，荷を追積みすることができる．
・立ち寄り集荷を行った場合は，立ち寄り料および荷に応じた荷役料が発生することとする．

次に輸送経路の作成とその距離に従った輸送料率の設定を行った．富士・浜松地区は東西約100km，南北約50kmと広範囲にわたるため，輸送経路の作成に当たり部品メーカー17社を地域別に図2の4ブロックに分割した．各ブロック毎に考えられるすべての輸送経路を作成した．

（ブロック別ルート数＝2^n-1）n:部品メーカー数

・浜松地区　：6社，63ルート
・袋井地区　：4社，15ルート
・富士地区-1：5社，31ルート
・富士地区-2：2社，　3ルート　　合計112ルート

3.2　輸送計画モデル

混載輸送は，部品メーカーから集配センターへの輸送部分（巡回集荷）と，集配センターから日産工場への納入部分（幹線輸送）に分けられる．各々の輸送計画モデルの作成およびその計算結果を述べる．

3.2.1　部品メーカーから集配センターまでの集荷輸送

この集荷経路は，複数の部品メーカーを巡回集荷することを基本とする．コスト最小となる集荷経路を求めるために，4ブロック毎に考えられる輸送経路をすべて作成し，整数計画法ソフトを用いて最適解を求めた．作成した輸送モデルについて以下に述べる．

(1) 目的関数

各輸送経路を走行するトラックは10トントラックとし全体の輸送コストを最小にするための目的関数を以下に示す．ここではトラックが立ち寄り集荷した場合の立ち寄り費用およびその際の荷積み費用を考慮した．

$$\sum_{i=1}^{n} C_i X_i + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} KE_{ij}\ V_j Y_{ij} \rightarrow \text{最小化}$$

ここで　$C_i = A_i + D_i$

i　：選択したルートの番号（$i=1,n$）
j　：部品メーカーの番号（$j=1,m$）
X_i　：ルートiを走行するトラック台数
A_i　：ルートiを走行する輸送費
D_i　：ルートi上にある部品メーカーの立寄り費用合計（795円/1ヶ所）
V_j　：部品メーカーjの荷量容積（m³）
K　：単位荷量（m³）当たりの荷積み費用（66円/m³）
Y_{ij}　：ルートiで部品メーカーjの荷量の荷積み率（$0 \leqq Y_{ij} \leqq 1$）
E_{ij}　：ルートiで部品メーカーjの立ち寄り（有＝1，無＝0）

(2) トラック1台あたり荷量に対する制約式

10トントラック1台あたりの積載可能な容積・重量には各々上限がある．各トラックの積載荷量はこの上限値を上回ってはならない．ルートiにおけるメーカーjでの荷積み率：Y_{ij}に対し次の制約条件を与える．

$$\sum_{j=1}^{m} V_j Y_{ij} < V_c X_i \quad (i=1,n)$$

$$\sum_{j=1}^{m} W_j Y_{ij} < W_c X_i \quad (i=1,n)$$

ここで　i　：選択したルートの番号（$i=1,n$）
j　：部品メーカーの番号（$j=1,m$）
V_j　：部品メーカーjの荷量容積（m³）
W_i　：ルートiを走行するトラック台数（t）
V_c　：10トントラックの容積上限値（39m³）
W_c　：10トントラックの重量上限値（10t）

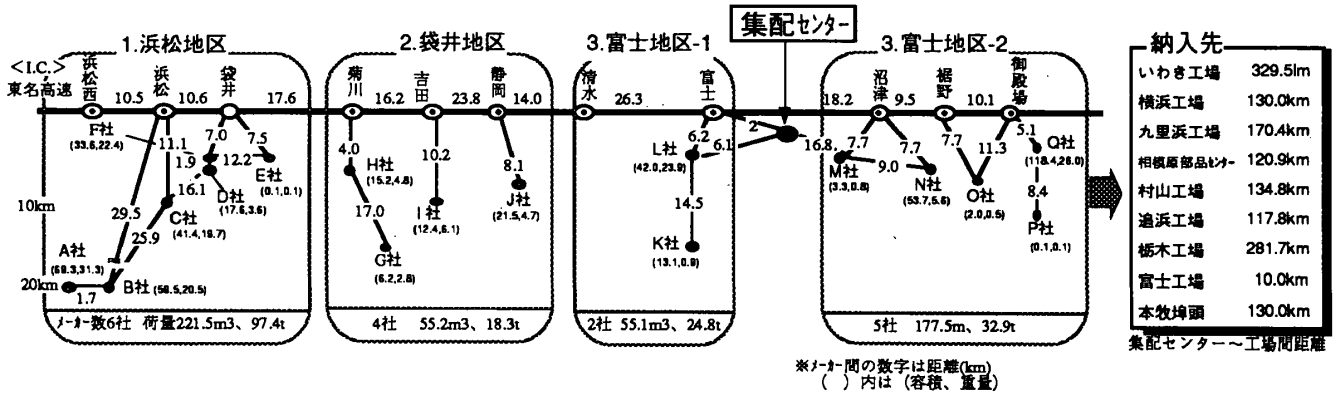

図2　対象地域データ

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

(3) メーカー別取扱い荷量の制約式

各部品メーカーの荷はすべて集配センターに運ばれなければならない．メーカーjのルートiにおける荷積み率：Y_{ij}に対し，さらに次の制約条件を与える．

$$\sum_{i=1}^{n} Y_{ij}=1 \qquad (j=1,m)$$

ここで　Y_{ij}：ルートiで部品メーカーjの荷量の荷積み率 $(0\leq Y_{ij}\leq 1)$

3.2.2　集配センターから日産工場への納入輸送

まず集配センターから各要求元工場への納入はピストン輸送で行うこととする．ピストン輸送については荷量に合わせて4トントラックから19トントレーラまで4種類の車両とその台数を変数とし，目的関数を輸送費最小として線形計画法で解く．この解は一般的に実数となるので小数点以下を切り落とした数をピストン輸送の台数とする．小数点以下，つまり積み残した荷について3.2.1と同様に考えられるルートをすべて作成し整数計画法ソフトによって巡回納入するルート，トラック台数を求めた．

3.2.3　計算結果

以上のモデルを使った計算結果について以下に述べる．部品メーカーから集配センターまでの集荷における各地域の必要トラック台数（10トン車）は，浜松地区11台，袋井地区1台，富士地区-1は3台，富士地区-2は6台で合計1日当たり21台という結果になった．また集配センターから日産工場までの納入に必要な車両は4トントラックが2台，10トントラック1台，14トントレーラ10台，19トントレーラ3台の合計1日当たり16台となった．

この結果をもとに富士・浜松地区～日産工場間輸送におけるトラック台数，走行台キロ，輸送費を算出し，現状と比較した結果を表1に示す．混載輸送の実施により，トラック台数で39%，走行台キロで31%，また輸送費で20%の削減効果があることが確認できた．

表1　試算結果

	デポ輸送	混載輸送	効果
トラック台数（台/日）	61	37	▲24台（▲39%）
走行台キロ（台キロ/日）	6,249	4,282	▲1,967（▲31%）
輸送費（千円/日）	2,036	1,633	▲403（▲20%）

4．社会的効果の試算

次に混載輸送を実施した場合の社会的効果（労働力，エネルギー消費量，CO_2排出量）について試算した．

4.1　試算の前提条件

試算前提を図3に示す．静岡県磐田市にある部品メーカーA社から日産追浜工場までの部品輸送の試算を行い，従来のデポ輸送と比較した．デポ輸送は，部品メーカーから横浜市のデポまで10トントラックで輸送する（輸送距離：199.7km）．末端での荷役を含めすべてドライバー1人で行うとし，積載率は輸送業者へのヒアリング結果から85%とした．またデポから追浜工場間の輸送積載率も同様とした．

混載輸送では部品メーカーから集配センターまでの集荷（輸送距離：110.9km）は10トントラックで行うとし，積載率はデポ輸送と同様に85%とした．集配センターまでの輸送は荷役を含めトラックドライバー1人で行うこととした．集配センターで19トントレーラへの積み替えを行ったあと，追浜工場までの幹線輸送は19トントレーラで行う．工場への納入，荷役も含めドライバー1人で作業することとし，積載率は集荷と同様85%とした．試算は部品メーカーAから追浜工場まで部品1トン輸送当たりの必要量（発生量）を求めデポ輸送と混載輸送の比較を行った．

4.2　労働力

まず労働力（人・時／トン）の試算を行った．上記

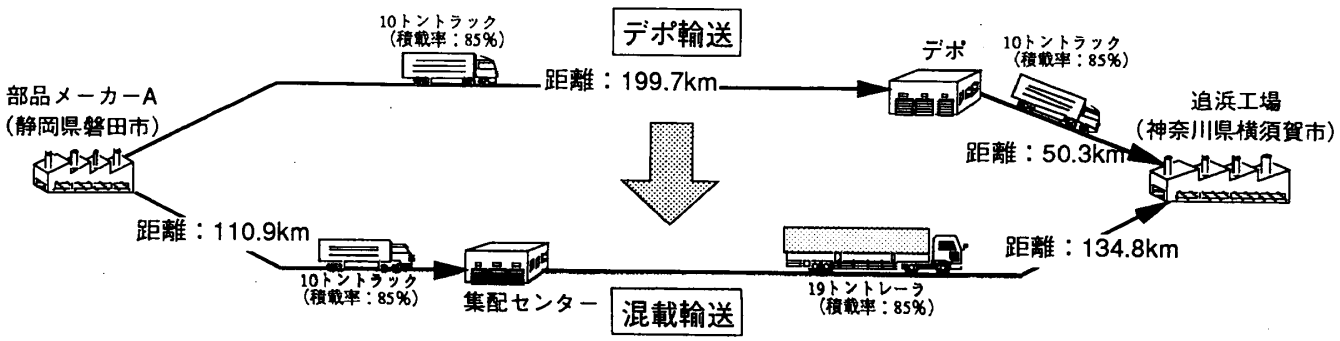

図3　社会的効果の試算前提条件

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

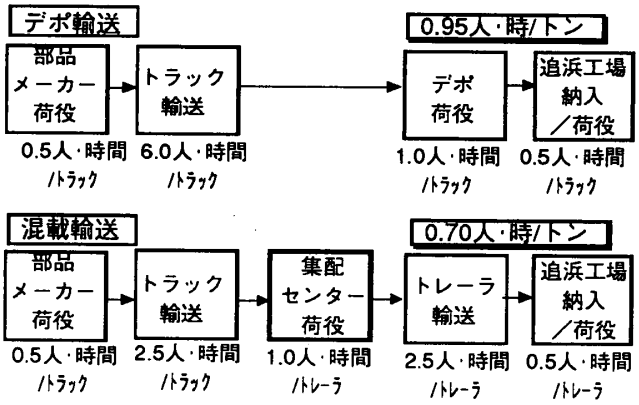

図4　労働力の試算結果

表2　エネルギー消費量原単位

(kcal/トン-キロ)

	10トントラック	19トントレーラ
高速道路	348	215
一般道路	390	241
カロリー換算値	9,200kcal/l	

の試算前提にもとづき算出した結果を図4に示す．混載輸送によって磐田～追浜間を輸送する際の1トン輸送当りの労働力（人・時）は，従来のデポ輸送に比べ26%（0.70／0.95）の削減効果があることがわかった．

4.3　エネルギー消費量

次にエネルギー消費量の試算を行った．まずトラックの実際の燃料消費量データを用いて，トンキロ当たりのエネルギー消費量原単位を作成した(表2)．カロリー換算を行う際には，資源エネルギー庁統計による換算値を用いた．

次に車種別，利用道路種別にエネルギー消費量原単位を用いてエネルギー消費量を算出した．試算結果を表3に示す．輸送全体ではデポ輸送の場合1トン輸送当たり89,113kcal必要であるが，混載輸送を実施することにより68,615kcalとなり23%の削減効果があることが確認できた．

表3　エネルギー消費量削減効果

		デポ輸送		混載輸送	
		距離(km)	消費量(kcal/トン)	距離(km)	消費量(kcal/トン)
10トン	高速	199.7	69,496	97.9	34,069
	一般	50.3	19,617	13.0	5,070
19トン	高速	—	—	115.8	24,897
	一般	—	—	19.0	4,579
合計		250.0	89,113	245.7	68,615
(削減効果)		▲20,498(▲23%)			

表4　CO_2排出量原単位

	10トントラック	19トントレーラ
高速道路	27.3	16.9
一般道路	30.6	18.9
カロリー換算値	78.39（炭素換算グラム/1000kcal）	

表5　CO_2排出量削減効果

		デポ輸送		混載輸送	
		距離(km)	排出量(g-C/トン)	距離(km)	排出量(g-C/トン)
10トン	高速	199.7	5,452	97.9	2673
	一般	50.3	1,539	13.0	398
19トン	高速	—	—	115.8	1,957
	一般	—	—	19.0	359
合計		250.0	6,991	245.7	5,387
(削減効果)		▲1,604(▲23%)			

g-C：炭素換算グラム

4.4　CO_2排出量

前記のエネルギー消費量の試算結果を用いて，CO_2排出量の試算を行った．まず磐田～追浜間1トン輸送当たりのCO_2排出量原単位を作成した．エネルギー消費量からCO_2排出量への換算は「二酸化炭素排出量調査報告書」(1992.5　環境庁地球環境部)の燃料種別排出係数を用いた(表4)．試算結果を表5に示す．混載輸送実施によるCO_2排出量の削減効果は，エネルギー消費量と同様23%となる．

5．まとめ

輸送計画モデルを用い混載輸送の輸送計画を作成した．その効果を試算した結果，従来のデポ輸送に比べて，輸送費で20%，労働力で26%，エネルギー消費量で23%，CO_2排出量で23%削減できることがわかった．今回の混載輸送は企業だけでなく社会的な効果が大きいことが確認できた．現在，日産では栃木工場や富士工場を基点とした混載輸送が進められており輸送費などほぼ試算結果どおりの効果が認められている．集配センターから納入工場までの距離が長く，渋滞などの影響を受けずにいつでも納入時刻どおり輸送できることが混載輸送の課題であり，今後この課題に対処しつつ拡大を図っていきたい．

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．