石油タンクローリーの出荷ステージ設計

田辺　孝夫

1．はじめに

従来から，油槽所は安全確保と製品の安定供給を社会的使命として運営されてきた．取扱い製品が危険物であり，製品受け入れが主として製油所からの海上輸送であることから立地も限られ，油槽所は同業他社と隣接している場合が多い．そのような状況で各社，互いに協力しながら安全確保と製品の安定供給に努めてきた歴史がある．特に，石油製品の自由化以前ではガソリンスタンドの出店規制もあり，油槽所レベルでの企業間競争はほとんどなかったと言える．本稿のテーマである出荷ステージ設計においても，予算の許す範囲内で最大限安全性を考慮することから，過去の実績をもとに画一的な配置が基本であった．

しかし，近年の石油製品に関する規制緩和は市場価格の大幅な下落をまねき，各社とも大幅なコスト削減が求められている．特に，国際競争力を確保するレベルに到達するためには個別項目の改善の積み上げでは限界があり，油槽所～運送会社～顧客といったサプライチェーン上の活動を統合的に見直したうえで全体最適を志向しなければならない．ただし，このサプライチェーンを構成している多くの会社は系列会社とはいえ別会社であり，経営の独自性の尊重と全体最適とのバランスの取り方が重要なポイントとなる．

一方，設備のコンピュータ制御が発達し，人間のミスをシステム的に防止することや，タンクローリーを適確に誘導するシステムの開発等が容易に行え，ステージ設計の自由度は増加してきた．今回は，サプライチェーン最適化の視点を取り込み，数理計画法の技術を導入し，過去の経験則の定式化を含めモデル化することで，多様な環境下における出荷ステージの設計が簡単に行える仕組み作りを目指し，期待どおりの導入成果を得られたのでここに報告する．

たなべ　たかお　(株)ジャパンエナジー
〒105-8407　港区虎ノ門2-10-1
tanabe@j-energy.co.jp

2．ステージ設計の概要と考え方

当社の場合，白油としてハイオクガソリン(GP1)，レギュラーガソリン(RG)，白灯油(WK)，軽油(GO)，黒油としてA重油(AFO)，C重油(CFO)の2油種グループ6油種が主な出荷製品である．

出荷ステージでは，**図1**のフロー図が示すようにタンクから仕切弁，流量計を経由して最終的にローディングアームによりタンクローリーに製品が供給される．また，**図2**の配置図が示すように出荷ステージには両側で荷積ができるように複数の積口（ローディングアーム）が設置されている．

タンクローリーは，注文に応じて荷積をした後，顧客へ配送へ行く．1回の配達時間によるが1台のタンクローリーで日に2～4回程度の出荷を行う．現状では，前日や夜間での積み置き，立会人なしでの荷卸し等が禁止されているため朝1番目の出荷に一斉にローリーが集まることになる．また，出荷ステージの積口の配置と注文の油種構成によって積込み時間に3倍以上の開きがある．特に，冬場には白灯油の需要が夏場の10倍以上伸びるため，冬場の出荷をいかに乗り切るかが油槽所運営の課題となっていた．

2.1　従来の設計思想

油種別の年間出荷量と1積口当たりの出荷可能量から必要積口数を割り出し，白油と黒油のグループ毎にまとめてステージに配置する．その際，同一油種グループ内での必要本数に差がある場合は，間引きした配置，もしくは，ステージの中央に配置し両サイドから使用可能とする等の工夫をし，各ステージ毎に油種の配置順序が同一になるように設計する．

これは，自社ローリーによる出荷が主体で，ローリーに対して出荷時刻を指定でき，また，他社ローリー

© 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．

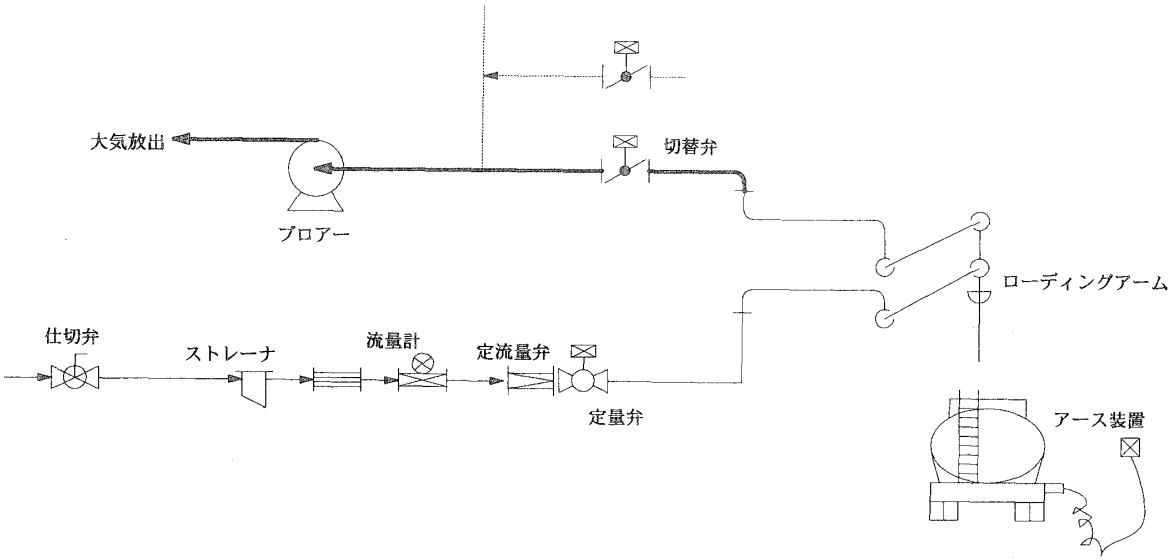

図1　概略フロー図

の割付も出荷場が空いている時間帯に行うことができることから，総量として出荷能力を満足すれば日々の運用の中で待ち時間ロスが吸収できると仮定していることになる。

2.2　今回の設計思想

本稿では，顧客からの受注～配車～出荷～荷卸のプロセスのうち，油槽所の出荷ステージの設計と上記プロセスの関係を明確にし，ステージ建設コストと上記プロセスの効率が低下する部分とのトレードオフで出荷ステージを設計する。

また，ケース展開を容易に行えるようにシステム化を計り，冬場のピークや夏場の閑散期といった季節変動や，今後予測される需要構造の変化に対してシミュレーションすることで地域に合った適応力を持つ出荷ステージを設計する。

2.3　出荷ステージと受注プロセスの関係

現状，タンクローリー運賃は配送距離と配送量によって地域毎に協定がある（図3参照）。このため，荷積に必要な時間が長くても表面上にロスとして現われない。

しかし，図3から明らかなように運賃単価は近距離ほど割高となっており，荷積／荷卸しの時間を想定して距離単価に上乗せしていると見ることができる。そこで，この上乗せ分を通常の荷物のハンドリング時間で割り返すことで運賃に隠れている時間コストを絞り出した。その一方で，タンクローリーの設備償却費，保守費，運転手の運賃等を稼動時間で割った時間単価とも比較し，今回採用した時間コストの妥当性を確認した。

今後，ますます進む自由化の中では，単純な運送会社にとっての時間ロスにとどまらず，待ち時間の長短によって集客率に差が出たり，受注から出荷までのリードタイム短縮によるフレキシビリティーが改善されるなど，グループ全体での競争力強化につながってくる。

今回の問題は，ステージ数やポイント数の増加に伴う建設コストの増大と，ステージ数の減少によるローリーの待ち時間ロスの発生を天秤にかけ，合理的なステージ数（積口の油種の組合せを含む）を求めることにある。

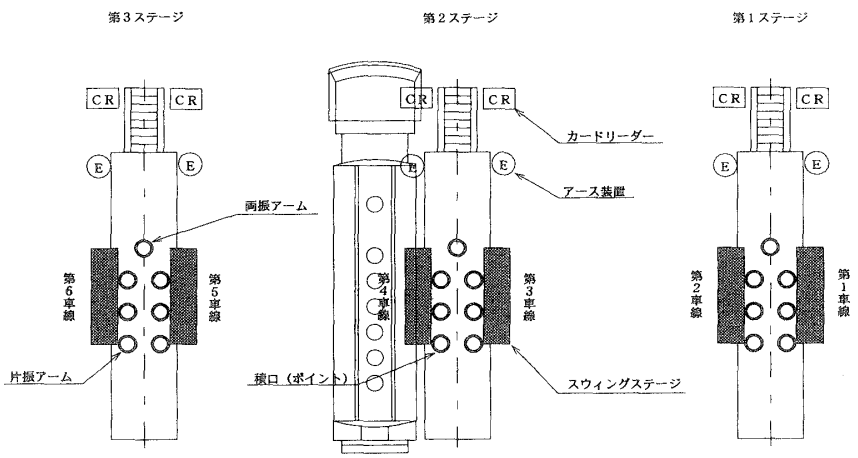

図2　出荷ステージ配置図

© 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．

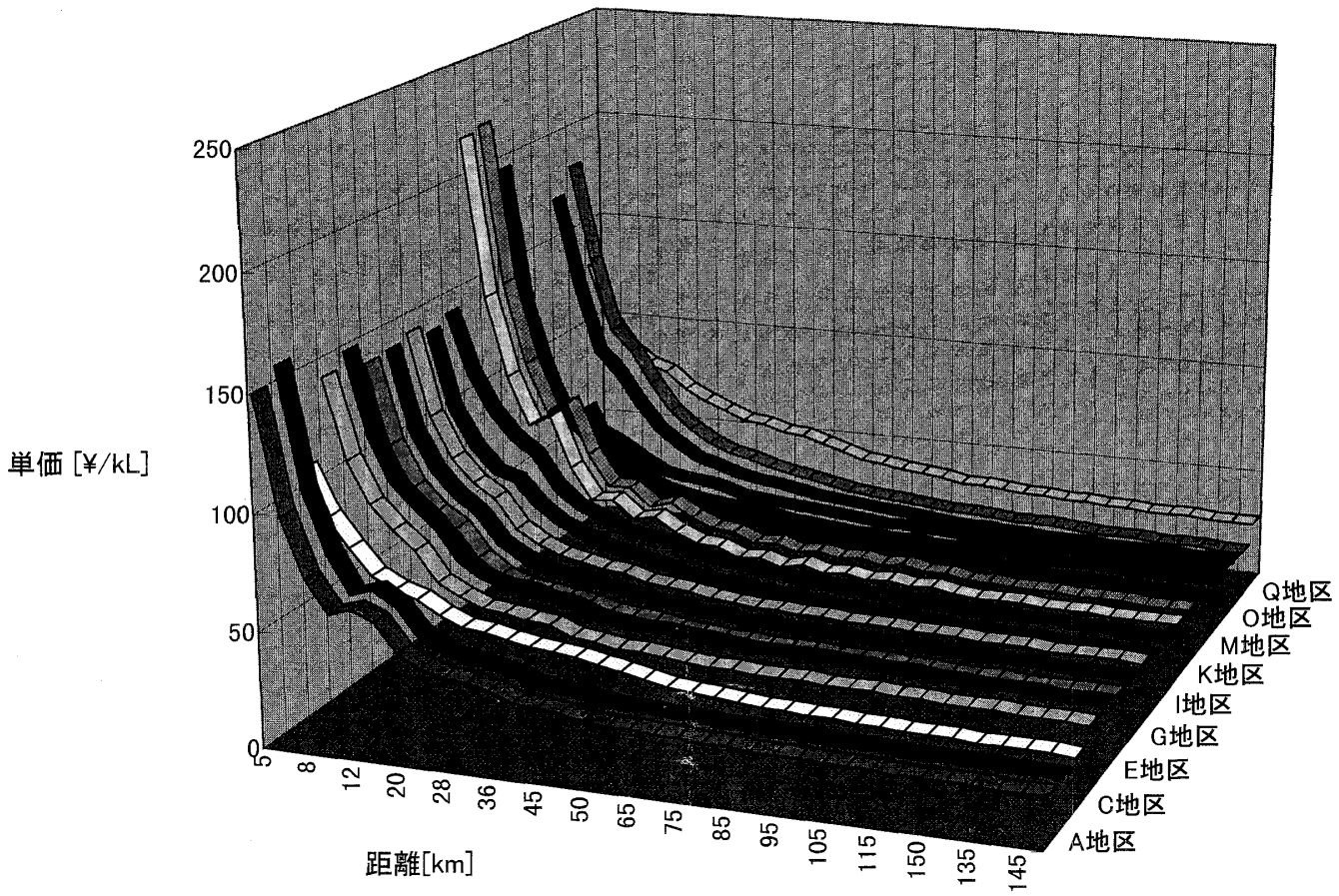

図3　地域別タンクローリー運賃単価

3．数学的モデルの構築

今回のモデルは，出荷ライン数（整数），出荷ラインのポイント組合せの選択（0/1変数），各ローリーの出荷ラインへの割り付け数（整数）を含む混合整数計画法（MIP：Mixed Integer Programming）となるが，均衡輸送問題（Balanced Transportation Problem）である特殊性から，比較的短時間で計算することができる．

図4に，今回，モデル化したネットワークモデルを示す．

3.1．目的関数

目的関数を(1)式に示すが，朝1出荷時の総待ち時間（分）*queue*と朝1出荷時の総積込み時間（分）*load*とステージ建設コスト（変動分）（千円／車線）*build*の重み付き和が最小になることとした．ここで，αとβは待ち時間ロスを金額評価に換算するための係数（千円／分）である．

$$\mathrm{MIN}\ (\alpha\, queue + \beta\, load + build) \tag{1}$$

3.2．制約条件

タンクローリー荷積みパターンをi($i=1\sim m$種類)，出荷ラインポイント組合せパターンをj($j=1\sim n$種類)，待ち行列に並んでいるタンクローリーの最後尾からの順番をl($l=1\sim p$番)，Sinkをsとし，各変数を次のように定義する．

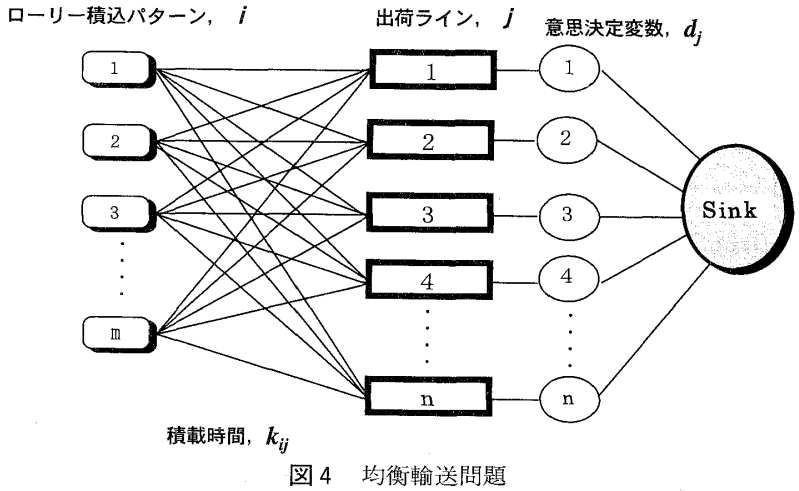

図4　均衡輸送問題

© 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．

表1　積込み順による延べ待ち時間の違い（単位：分）

積込順序	A(40分)	B(30分)	C(20分)	トータル
A→B→C	0	40	70	110
B→A→C	30	0	70	100
C→A→B	20	60	0	80
C→B→A	50	20	0	70

x_{ij}：荷積みパターンiのローリーが出荷ラインポイント組合せパターンjに割り付けられる台数（台）

X_{js}：出荷ラインポイント組合せパターンjで荷積みされるローリー台数（台）

n_j：出荷ラインポイント組合せパターンjの建設総ライン数（車線）

t_j：出荷ラインポイント組合せパターンjの総積み込み時間（分）

y_{jl}：出荷ラインポイント組合せパターンjで最後尾から1台目に位置するローリーが待たされる延べローリー台数（台）

y_j：出荷ラインポイント組合せパターンjで待たされる延べローリー台数（台）

d_j：意思決定変数（ローリーが出荷ラインポイント組合せパターンjを採用する場合＝1，不採用の場合＝0）

また，定数および係数を次に示す。

D_i：配車計画によって割り付けられた荷積みパターンi別のローリー台数（台）

k_{ij}：ローリー荷積みパターンiが出荷ラインポイント組合せパターンjで積み込んだときにかかる1台当たりの積込み時間（分）

q_j：出荷ラインポイント組合せパターンjにおける1台あたりの平均積込み時間（分）

C_j：出荷ラインポイント組合せパターンjの1ライン数当たりの建設費（円／車線）

M_1, M_2：ビックM

この時，各出荷ラインの総積込み時間と総積込み時間は，それぞれ(2)，(3)式で表現できる。

$$\sum_{i=1}^{m} k_{ij} \cdot x_{ij} = t_j \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^{n} t_j = load \tag{3}$$

また，均衡輸送問題であることから，(4)式で各出荷ライン毎に入／出のローリー台数は保存され，(5)式で総出荷量と総受注量と等しくしている。

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = X_{js} \tag{4}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = D_i \tag{5}$$

一方，問題となる待ち時間のモデル化は，(6)式から個々の出荷ステージに割り付けられたタンクローリーの延べ待ち台数を求め，(7)式で延べ待ち台数と各車線の平均積込み時間の積から求める。

$$\left.\begin{array}{l} y_{jl} \geq x_{js} - l \cdot n_j \\ \sum_{j=1}^{p} y_{jl} = y_j \end{array}\right\} \tag{6}$$

$$\sum_{j=1}^{n} q_j \cdot y_j = queue \tag{7}$$

これは，積込みパターンによって積込み時間が異なり，延べ待ち時間はタンクローリーの積込み順序によって変化する．たとえば，**表1**に示すように積込み時間が異なる3台のタンクローリーの場合（A：40分，B：30分，C：20分），順序により70～110分の開きが発生すること，延べ待ち台数が，**表2**に示すように，1車線当たりの取扱い台数に対して2次で増加すること，また，**図5**に示すように同一出荷ラインポイント組合せを複数車線建設した場合の延べ待ち台数を考慮した。

建設コストは，出荷ラインのポイント組合せパターンjの採用／不採用意思決定を制約する(8)式，出荷

表2　取扱い台数と延べ待ち時間の関係

取扱い台数	式	延べ待ち台数
1		0台
2	1	1台
3	1＋2	3台
4	1＋2＋3	6台
5	1＋2＋3＋4	10台
・	・	・
N	1＋2＋…＋(N－1)	S(n-1)台

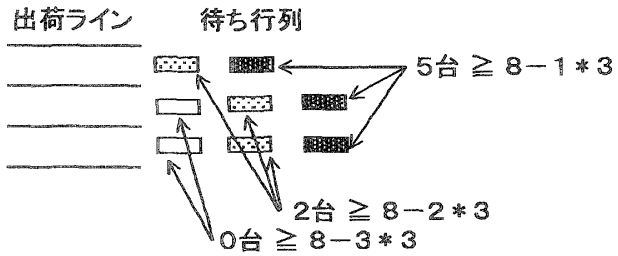

図5　複数車線時の延べ待ち台数

© 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．

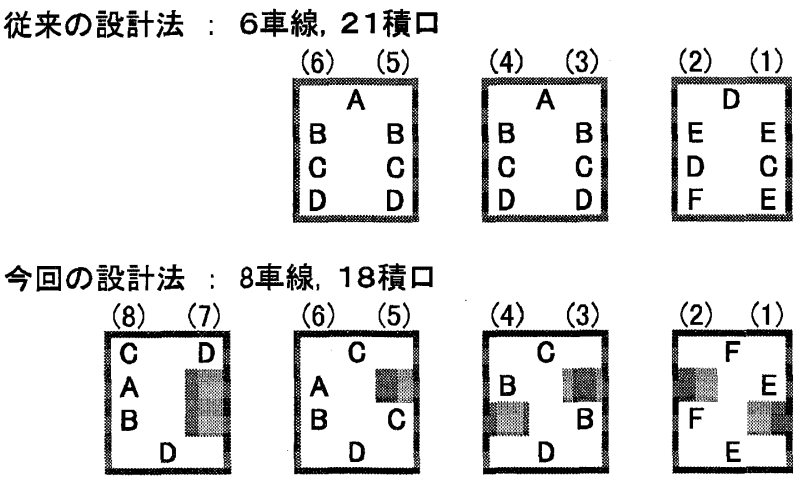

図6　積口配置比較

表3　積込み時間の比較

従来の設計法		今回の設計法	
車線	積込時間（分）	車線	積込時間（分）
(1)	56	(1)	65
(2)	104	(2)	56
(3)	106	(3)	79
(4)	106	(4)	79
(5)	130	(5)	103
(6)	130	(6)	113
		(7)	78
		(8)	111
平均	105	平均	96

ラインの建設単価と最適建設出荷ライン数の積である(9)式から求める．

$$\left.\begin{aligned} x_{js} &\leq M_1 \cdot d_j \\ n_j &\leq M_2 \cdot d_j \\ n_j &\geq d_j \end{aligned}\right\} \tag{8}$$

$$\sum_{j=1}^{n} C_j \cdot n_j = build \tag{9}$$

その他の条件として，出荷ラインのポイント組合せで許されないケースや，重要油種に対しての最低積口数の制限等，油槽所個別の制約条件が追加される．

3.3. 最適化の結果

今回は，春夏秋冬の需要パターンに対して個別に最適なステージ設計を行い，個々の解の中で四季を通じて積込み時間が悪化しない配置を選択した．

その結果，従来方式と同額の建設費で出荷ライン数を2車線増やすものとなった．(図6：積口配置参照)．また，計算上で積込み時間についても表3に示すように大幅な改善ができ，出荷能力を20%改善した結果となった．

また，本設計により更新された出荷ステージにおいて，立ち上げ数カ月は，従来と違う手順や，積口の配置による戸惑いがあったが，運転手の慣れとともに設計どおりの出荷能力を発揮するようになった．

4．まとめ

今回，全体最適化の志向を持ち，数学的なモデル化により合理性を追求した結果，想定される需要パターンに対してあらかじめ確認が行え，従来にない出荷ステージの設計を具体化できた．また，タンクローリーの車線誘導システムを導入することでダイナミックに出荷ステージの有効活用が図られている．今回は，油槽所～顧客までのサプライチェーン上で，出荷ステージの前後のみ着目した改善であったが，視野を広げることで思わぬコスト削減が実現できたと考えている．

5．おわりに

今回の設計システムは，当社の関連会社である甲陽建設株式会社[1]が導入し，当社グループに限らず，油槽所の更新工事受注時に顧客への技術サービスとして提供している．今後は，この営業活動が油槽所を核としたサプライチェーンの改善の一助になることを願っている．

[1] 本社：東京都品川区五反田1-27-2
タンク，油槽所等の設計・建設・保守を主とするエンジニアリング会社

© 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．