

「輸送ネットワークの最適化」と「コンプライアンスを遵守した乗務員にやさしい輸送」を両立させた「次世代輸送マネジメントシステム」の構築*

Establishment of a “Next-Generation Transport Management System” that Balances “Optimization of the Transport Network” with “Driver-Friendly Transportation Ensuring Compliance”

岡山 健治
Kenji OKAYAMA

木村 祐太
Yuuta KIMURA

山田 典彦
Norihiro YAMADA

The logistics industry for transporting automotive parts has been working on effective measures to address the increasingly serious issues of the aging and shortage of truck drivers through utilization of the latest IT. As a result, a sustainable transport management system has successfully been established that achieves “scheduling that balances transport efficiency and drivers’ workload” and “total network optimization and shortened times for creating vehicle allocation plans.”

Key words :

Transport, Logistics, Truck, Vehicle allocation

1. はじめに

デンソーは、2008年のリーマンショック時、かつて経験したことのないような大きな需要変動に見舞われ、それまでの物流ネットワークが機能不全に陥り、人は右往左往しモノが物流倉庫にあふれ、それをなんとか力技で切り抜けてきたという辛く苦しい経験をしてきた。その時の教訓から、変化への対応力強化と物流ネットワークの再構築を最大の物流課題としてとらえ、2009年以降、全社レベルの取り組みを行ってきており、途中、東日本大震災の発生により、一時的に活動が停滞することはあったが、その後さらに取り組みを加速化し今日に至っている。一方、社外に目を転ずれば、

大震災後の復興需要、さらに2020年の東京オリンピック等により、トラック乗務員の高齢化と絶対数の不足が今後さらに深刻化する見込みとなっており、業界あげての早期対応が必要となってきた。デンソーではグループをあげて、このような重要社会インフラであるトラック輸送を徹底的に見直し、最先端のIT技術を活用し「輸送ネットワークの最適化」と「コンプライアンスを遵守した乗務員にやさしい輸送」の両立をはかると同時に、将来にわたって持続可能な「輸送マネジメントシステム」として確立させることを目指してきた。今後は、デンソーグループのみならず広く社会全体で活用いただける標準的なシステムとなるよう完成度を高めていきたいと考えている。

* (公社)日本ロジスティックシステム協会 2015年ロジスティック大賞応募論文に加筆して掲載

2. 自動車部品輸送の特徴と取り巻く環境

2.1 発注内示情報に基づく輸送計画の立案

自動車部品輸送は、得意先（カーメーカー）から2ヶ月～3ヶ月前に提示される部品発注内示情報に基づき、①出荷荷量の計算②輸送ルート設定③日当たり納入回数④トラックの車格等を決め、社内工場および得意先との調整を経た上で日々の運行を行っている。



Fig. 1 Scale of logistics of Denso Transport

現在、デンソーでは1日約1,000車のトラックを運行している (Fig. 1) が、部品のジャストインタイム供給は極限まで追求されている一方で、トラックの運行自体については、タイヤ作成から社内、得意先、輸送会社との調整等で一定のリードタイム (L/T) が必要であり、非常に硬直的な運用となっている。その期間中に生ずる得意先車両生産計画の変動により、内示情報と最終確定情報との間には相当のばらつきが生ずることがあり、その結果、低積載でガラガラのトラッ

クを走らせたり、逆に荷量オーバーとなり臨時車両を手配し納入するようなことも少なからず生じている。

2.2 中継物流 (クロスドック) 活用

デンソーは国内（主に愛知県）に21の生産工場やグループ会社を抱え、さらに1つの工場内に複数の出荷拠点があるため総出荷拠点数は60にも及ぶ。その60の出荷拠点から国内約670の得意先納場へ部品を供給しており、また得意先からは同一ルートでも1日複数回（最大48回）の納入が求められるため、仮に、自社工場から得意先工場へすべて直接輸送を行ったとすると、約4万もの少量輸送ルートが日々発生することになる。これを避けるために、デンソーでは各工場から一旦中継拠点に荷物を集め、ここで得意先別に仕分け便単位に出荷するという中継物流 (クロスドック) 方式を主流としており、現在、全国に大小合わせ18ヶ所の中継拠点が存在している。なお、下図のようにデンソーでは出荷拠点から中継拠点までを“集荷便”、中継拠点から得意先工場までを“納入便”と呼んで区別しており以下その呼称を使用する。クロスドック方式の弱点としては、多くの集荷便と納入便が時間単位で密接な関係を結んでおりダイヤの大幅変更に対応しにくいことがあげられる。これは、一つの集荷便に対して最大100ルートの納入便がつながっており、集荷便を変更するとそれにぶら下がっている納入便を一つ一つ確認しながら調整作業を行わなければならない、時間的な制約の下、タイムリーに大幅なダイヤ変更をすることが難しい状況となっていた。

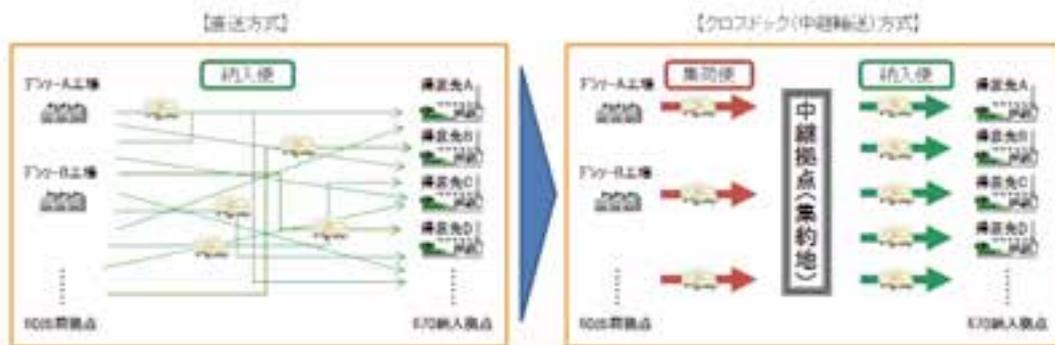


Fig. 2 Relay transport (cross-docking)

2.3 個人依存の輸送ダイヤ作成業務

輸送管理のメイン業務である、「輸送ダイヤ作成業務」は、作成にあたって考慮すべき条件の多様さ、複雑さにより、これまではベテラン担当者のスキル、ノウハウに依存する部分が大きくシステム化が遅れていた。その結果、固有スキルに基づく個別ルートでの最適化は実現できても、輸送ネットワーク全体の最適化視点が不足し、しかも従業員の高齢化、世代交代が進みつつある現状から、従来の個人スキルに頼ったやり方を改め、新人からベテランまで誰でも同じアウトプットが出せ、しかも輸送ネットワークの全体最適を実現できる新しい仕組みづくりが必要であるとの認識が高まりつつあった。

2.4 トラック乗務員の高齢化進展と不足

一方、トラック輸送業界に目を向けてみると、もともと3K業種の一つとされており、若年層からは魅力ある職場とは見られず高齢化・労働力不足が大きな課題となっていた。特に、荷主からのコストダウン要求が強まる中、そのしわ寄せが乗務員の労働環境に及び、休憩時間確保、勤務時間の適正な配分などコンプライアンスはもとより乗務員の働きやすさへの配慮が軽視されがちであった。2008年の国交省レポートによれば、2015年には必要とする乗務員88万人に対し、実際の乗務員数は74万人と14万人もの需給ギャップが生ずるとされた。このような環境下、優秀な乗務員を確保することは業界の共通課題であり、荷主としても、効率的なトラック運行の実現によりコスト削減を追求すると同時に、乗務員の労働環境改善に向けた取り組みも重要な責務の一つという認識が次第に広まってきた。

2.5 リーマンショックの事例

今まで述べてきたような課題が一気に表面化したのがリーマンショックであり、その後の東日本大震災であった。毎月のように得意先の生産計画が下方修正されることが繰り返されたが、すでに古い内示情報に基づき配車計画を確定させており、修正に必要なL/Tと処理能力不足から短時間で全面的なダイヤ修正を行うことは事実上不可能であった。その結果、荷量の大幅減少に対して配車数の調整作業が追い付かず、通常時

よりも平均約10%低い低積載率となるという状況が約半年間続いた。10%＝トラック約100車が毎日空荷で運行しているのとほぼ同じ状況が続いたことになる (Fig. 3)。

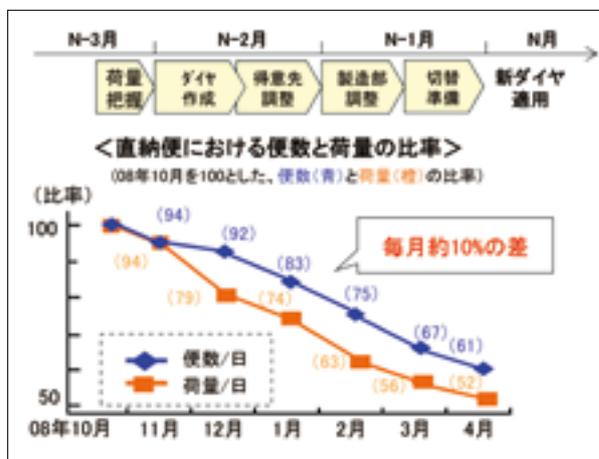


Fig. 3 Changes in cargo volume immediately after the global financial crisis



Fig. 4 Changes in cargo volume under normal circumstances

リーマンショックなどは極端な例ではあるが、平時であっても市場動向によって生産計画変更はたびたび発生する (Fig. 4) ことから、「最新の情報に持たれた配車計画をスピーディかつ正確に作成すること」が常に輸送管理に課せられた課題であった。さらに自動車産業も国内では低成長時代を迎え、単なるコスト削減を追求するだけでなく、持続可能な次世代の「輸送マ

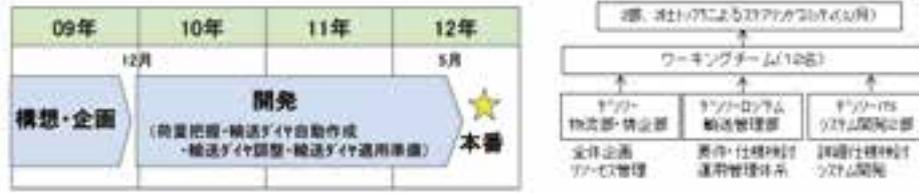


Fig. 5 Action plan and organization

ネージメントシステム」のあり方についても議論を開始した。

3. 取り組み

以上のような状況を踏まえ、デンソーでは物流の重要性を改めて確認するとともに、体質強化と物流ネットワークの再構築により新たな物流付加価値の創造をめざした全社的な物流革新活動を進めることとなった。そのコアとなるのが「輸送ネットワークの最適化」と「コンプライアンスを遵守した乗務員にやさしい輸送」を両立させた次世代の「輸送マネジメントシステム」の構築であり2009年より、デンソー物流部、情報企画部、および運行実務を担うデンソーロジテム、システム開発を担うデンソー IT ソリューションズによる合同プロジェクトチームが発足し以降4年間にわたる活動がここにスタートした。

尚、活動を進めるにあたっての基本指針として以下3つを定めた。

- ① 輸送マネジメントシステム全体の骨格を徹底的に議論する
- ② コアとなる「輸送ダイヤ作成システム」に最新のIT技術・OR技術を組み込む
- ③ 自律的、継続的な改善活動により常に進化し続けるシステムを目指す (PDCA サイクル組み込み)



Fig. 6 Framework of next-generation management system

3.1 取組の手順

手順	分類	機能	狙い
1	個別ダイヤの最適化	個別ダイヤの最適化 ダイヤ運行の最適化	個別条件遵守、システム最適化 働きやすさの向上
2	輸送ネットワークの最適化	全ルート・個人ルートの最適化 全ルート・個人ルートの見える化と標準化 企業間共有の可能性の調査	全ルートでのダイヤ最適化・見直し、乗務員の負担軽減、ダイヤを標準化、ダイヤを標準化、ダイヤを標準化、ダイヤを標準化

3.2 目標設定

(1) 輸送効率と乗務員の働きやすさを両立したダイヤ作成手法の確立

- ・ 個別ルートで、複数の制約条件を満足した最適なダイヤが短時間で作成可能にする
- ・ 熟練者個人持ちのノウハウを数値化・標準化し、ITシステムに織り込むことで、非熟練者でも短時間（1時間以内）でのダイヤ作成を可能にする
- ・ 輸送効率化と乗務員にやさしい運行（休憩時間の中央化、乗務員毎の勤務時間の均等化、36協定等のコンプライアンス遵守等）を両立させたダイヤを作成する

目標①：ダイヤ作成総工数の低減（128H / 月平均 → 64H / 月平均）

目標②：人為ミスによるコンプライアンス違反ダイヤ撲滅（4件 / 08年 → 0件 / 12年）

(2) ネットワーク全体の最適化と配車計画作成期間の短縮

- ・ 全ルートで、複数の制約条件を満足した最適化ダイヤが短時間で作成可能
- ・ 最新内示情報に基づく配車計画フローに変更することでダイヤ作成業務を従来のN-3月末スタートからN-2月末へ1ヶ月短縮

目標③：ダイヤ作成期間短縮（65日 → 35日 46%低減）

目標④：トラック積載率の向上（76% → 81%以上 + 5%向上 = トラック40車分削減）

サービス

(3) 持続性ある輸送マネジメントシステムの確立
 定性目標：PDCA等のマネジメントサイクルが常にまわり進化しつづけること

3.3 個別ルート最適化への取り組み

デンソーロジテムが作成する輸送ダイヤは2種類の運行表から構成される (Fig. 7).
 一つはA表と呼ばれ、「どの便のトラックに何の荷物を積むか」を示すトラック積込み品メニュー表であり、もう1つはB表と呼ばれ、「乗務員がいつ・どこで・何の作業をするか」を示す乗務員・運行スケジュールである。この二つの表の作成過程において、①出荷工場・中継地・得意先それぞれでの制約条件を遵守し、②荷量および時間の平準化・均等化、L/T最小化、輸送費用の最小化などを満足した最適化ダイヤを作成することが求められる。

- (1) トラック積載品メニュー表 (A表) の要件と最適化
- ・得意先要件：
 - ✓ 日当たり指定納入回数、最大・最小回数などの指定。
 - ✓ 平準化納入、多回納入 & 等間隔での納入のための均等分散納入。
 - ✓ できるだけ短いL/Tで納入。
 - ✓ 1オーダーの納入荷量は0.5m³以上。
 - ・デンソー要件：
 - ✓ コスト最小化、各トラック便に過積載がなくかつ最小便数で全荷物を運ぶ。
 - ✓ 各拠点 (工場、中継地) での立ち寄り回数を最小化する。
 - ✓ 同じ製作所内の各拠点の荷物は、まとめて同じ便で集荷する。



Fig. 7 Timetables (Schedule A and Schedule B)

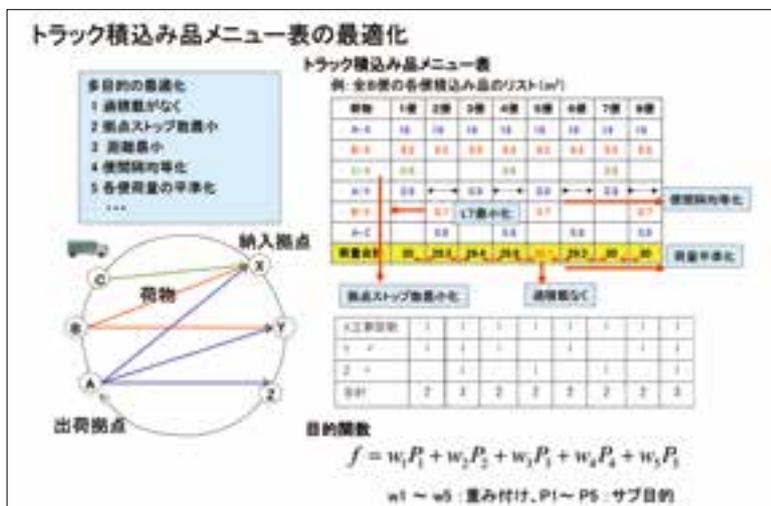


Fig. 8 Optimization of listings of truck-loaded cargo

このような諸条件を満たす A 表の最適化を実現するために、多目的最適化問題を実務に沿って解く必要がある。例えば、過積載の解消と各便の荷量平準を図るために、荷量をできるだけ多くの便数で運ぶことが望ましいが、中に平均 1 回あたりの荷量が少なすぎる（例えば 0.5m³ 以下）ため毎回 1 パレット未満になることもある。そのような荷物はむしろまとめる（少ない便数で運ぶ）よう工夫が必要である。そのような点を考慮しながら下記の目的関数を用いて、最適化解の探索ロジックを開発した。

$$f = w_1 P_1 + w_2 P_2 + w_3 P_3 + w_4 P_4 + w_5 P_5$$

P1：距離 (km), P2：拠点ストップ数を距離に換算, P3：便間荷量の分散, P4：過積載の量, P5：便間隔の偏差, w1～w5：重み付けパラメータ

(2) 乗務員・運行スケジュール (B 表) の要件と最適化

・得意先要件：

- ✓ 荷役禁止時間帯では作業せず、乗務員は休憩または調整時間として待機する。
- ✓ 便と便の間隔をできるだけ限り均等化する。

・コンプライアンス要件：

- ✓ 最大勤務時間 12H, 稼働時間が 6H 超の時休憩 45 分, 乗務員交替時 30 分間以上の余裕時間を確保する。
- ✓ 4H 超の連続運転時間の後には 30 分休憩を取る。

- ✓ 長距離ルートの場合、16H 以上の勤務後に 8H の仮眠時間を入れる。

・働きやすさ要件：

- ✓ 休憩はできる限り勤務時間の中央で取得する。
- ✓ 休憩 1H はできる限りまとめて取得する。
- ✓ 複数の乗務員が交替で運行する場合、乗務員時間をできるだけ限り均等化する。

・デンソー要件：

- ✓ 乗務員の調整・残業・深夜時間をできるだけ減らす。
- ✓ 拠点でのトラックの荷役重複時間＝待ち時間をできるだけ少なくする。

① 「コスト最小化」の手法開発

従来行ってきた人手作業によるダイヤ作成の場合、まず担当者の知識や経験に基づいて複数のパターンを作成し、その中から最も効率的だと考えられるダイヤを採用することが一般的であった。この場合、複雑なルートになると、熟練者と経験の浅い者では、作成 L/T に数日～1 週間程度の差異が生じたり、精度にも大きな違いが発生することもあった。そこで、熟練者に対して、彼らがダイヤ作成過程で考慮する諸条件を聞き込み、それを原単位化し数値化する試みを行った。そのような制約条件を全て織り込んだ数理モデルを構築し、コスト最小な乗務員・運行スケジュールをわずか数分で自動作成できる機能の開発に成功した。(Fig. 9)

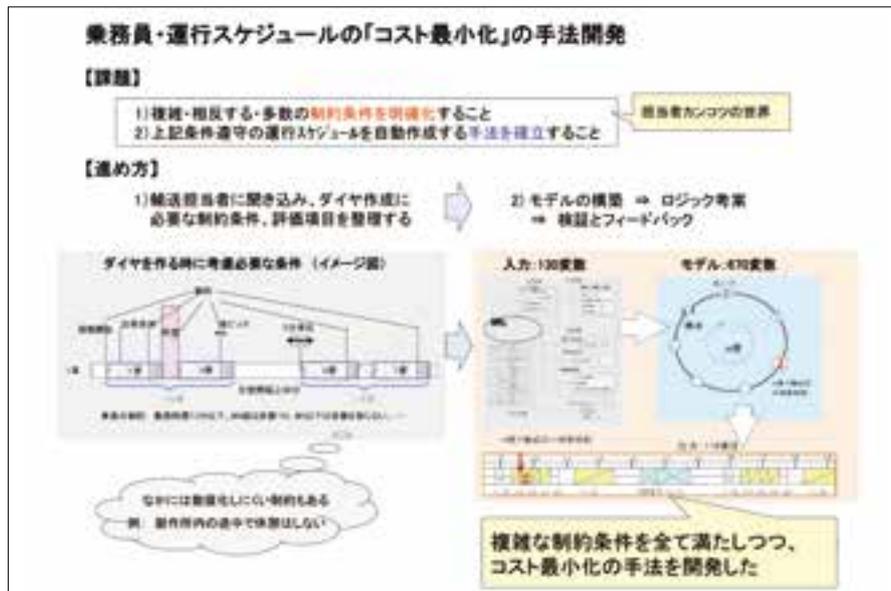


Fig. 9 Minimization of driver / transport schedule costs

② 運行スケジュールの「コスト最小化」と乗務員「働きやすさ」の両立

①の開発では、全体車両数の最小化を第1優先事項とし、同じ車両台数の場合には乗務員コストの最小化を目指していた。しかし、そのままでは乗務員の働きやすさという観点で望ましくない結果が生成されることが分かってきた。例えば、

- ・1日8.5H勤務の乗務員の休憩時間1Hが終業直前に設定されるケース

・乗務員2名が昼夜交替で運行しているが2名の勤務時間に大きな偏りがあるケース

このような問題は、コスト優先ロジックにより乗務員の働きやすさを軽視した結果であり、従来はほとんど輸送会社内の調整で対応されてきた。我々は、このことは荷主の社会的責任ととらえ、新たな取組み、すなわちコストと働きやすさを数値化し、その二つを両立させる新しい考え方に取り組んだ。(Fig. 10).

システムが自動作成した輸送ダイヤ表を、輸送実務

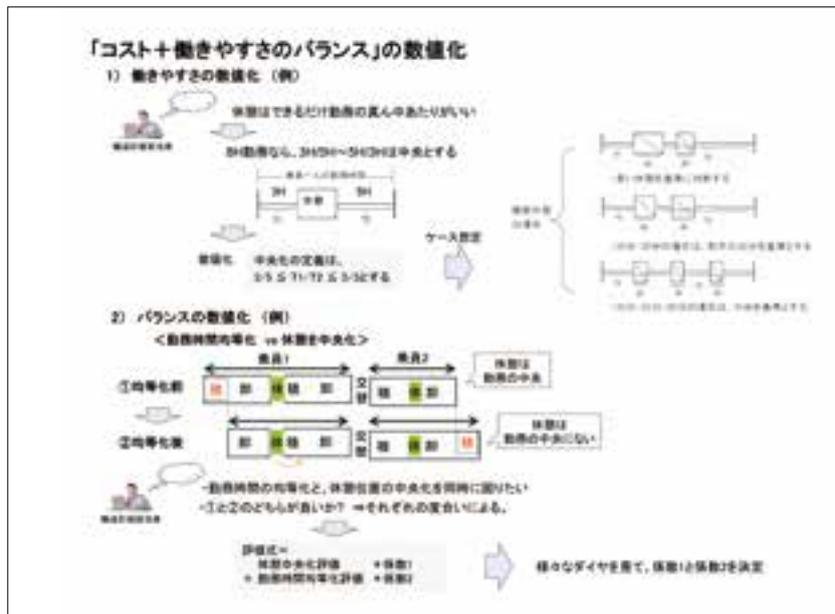


Fig. 10 Numerical presentation of balance between costs and ease of work

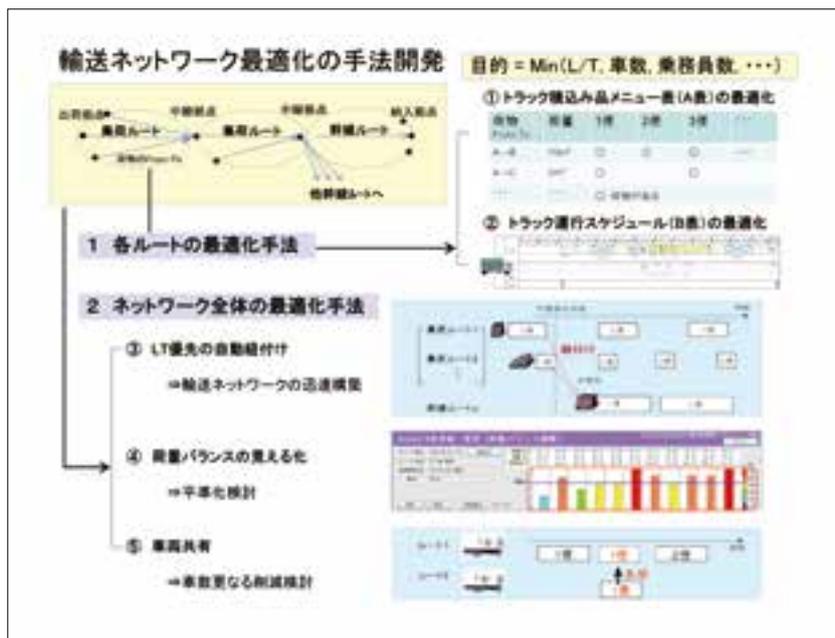


Fig. 11 Methods of transport network optimization

担当者が一つ一つ確認、評価し、システムと人間の判断プロセスの差異を明らかにすることで、人間の経験や判断を織り込んだ評価関数を作成し最適解を求める新たな手法を確立した。しかし、システムからは単一解を提示せず、数値手法による解の中から評価指数の上位4解を示すのみにとどめ、最終的に担当者が一つを選択する方式とした。これは評価関数をブラックボックス化せず、その時々や環境や諸条件の変化を人が最終判断するというこだわりを大切にされた結果である。

3.4 輸送ネットワーク最適化への取り組み

前節の取組みにより、単独ルートでの最適化には目途付けができたが、さらに「輸送ネットワーク全体での最適化」を実現するためには、ネットワーク全体でのL/T、車数、乗務員数の最小化が必要であり、そのための機能として①集荷便・納入便間の自動紐付け②荷量バランスの見える化と平準化サポート③異なるルート間での車両共有化の3つの機能開発を行った (Fig. 11)。

(1) 集荷・納入ルートの自動紐付けと荷量バランスの見える化

中継地(クロスドック)では、工場から集荷便で配達される部品を、得意先、受入れ、便単位に仕分け作業を行い、次の納入便トラックで得意先へ配送される。その集荷便と納入便は最短時間でシンクロし運行されることが理想であるが、荷量の多さに加え、from(出荷拠点)～to(納入拠点)の数の多さから、その調整には多大の工数が必要となってくる。

納入便との接続時間可否、中継地での滞留時間最小化、便毎の荷量平準化などの要件を整理し、最適解なトラック積込み品メニュー表を完成させるまでには数週間要することもあり、通常は多少の非効率性には目をつぶり、必要最低限の修正に留めてしまうことも多かった。そこで我々はまず①集荷便と納入便を自動的に紐付けする機能の開発に取り組んだ。ただこれだけでは荷量の平準化が確保できないため、更に②画面上で便単位の荷量を棒グラフで表示し、集荷便と納入便のつながを確認しながら人の判断で集荷便の前倒し等の荷量平準化作業を簡単に行えるようにした (Fig. 12, Fig. 13)。



Fig. 12 Linking of cargo pick-up / delivery routes

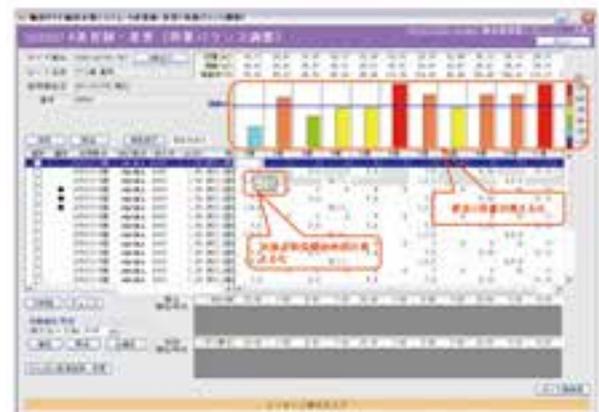


Fig. 13 Monitor display of balancing cargo among pick-up routes

(2) 車両共用による車数の更なる削減

ルートによって、一日中フル稼働しない車両がある。この場合、午前中に一つのルートの仕事をし、午後から別のルートの仕事をするなどが考えうるが、従来は、担当者が自分の担当ルートしか見ていなかったため、他ルートとの車両共用がなかなか進まなかった。本システムでは、複数ルート間の車両共有や、ユーザー指定のルート組合せにおける車両共有の可能性を探索するための新たな機能を追加し、常にネットワーク全体の最適化を意識した仕組みとした。これらによりネットワーク全体の最適化の最低条件はクリアできたと考えるが、さらに人と仕組みが進化し続けていくために、日常の管理サイクルに組み込みマネージしていく手法について以下簡潔に記す。

3.5 持続性ある輸送マネジメントシステムの確立

コアシステムの開発と並行して、これを補完する実績管理および継続改善の仕組みとして①輸送品質 (Q) ②トラックの運行実績管理 (D) ③積載率 (C) の実績モニタリングと、そこから見える課題を集中的に改善するためのタスクフォースを設置した。計画と実績値の差異分析や源流管理の徹底あるいはコアシステムへのフィードバック等により、今回の活動が一過性のものになることなく、進化し続けるマネジメントシステムとして定着しつつある。この成果として、①走行時間、作業時間、停車時間等の見直し②全社的な積載率向上活動等への取り組み等が現在も継続的に行われている。

4. 結果及び効果のまとめ

- ①ダイヤ作成総工数の低減 (128H / 月平均 → 10H / 月平均 ※ 92% 低減)
- ②人為ミスによるコンプライアンス違反ダイヤの撲滅 (4件 / 08年 → 0件 / 12年)
- ③ダイヤ作成期間短縮 (65日 → 35日 ※ 46% 低減)
- ④トラック積載率の向上 (76.0% → 83.7% ※ +7.7% 向上 = トラック 70 車分削減)

これまで述べてきた取り組みにより、熟練者の個人

持ちとなっていたノウハウを数値化・標準化することができ、非熟練者がダイヤ作成に数日～1週間程度要していたのに対し、A表・B表の最適化・自動化により短時間でダイヤ作成が可能になった。・・・①

同様にB表の最適化・自動化により、休憩時間をほぼ中央に自動で割り付けしたり、複数人勤務時の労働時間の均等化など、コンプライアンスを遵守しかつ乗務員にやさしい輸送を実現できる機能を開発することができた。・・・②

①②の結果、より新しい内示情報に基づく短サイクルの配車計画フローに変更することができダイヤ表の作成L/TをN-3月末からN-2月末スタートへ約1ヶ月短縮させることができた。この結果、鮮度の高い内示データに基づいた配車計画立案が行えるようになり、積載率が大幅に向上するという好循環を導いている。・・・③④

Fig. 15 は各年毎の実績積載率を示しているが、07年度が76.0%であったのに対し、08年度のリーマンショック、11年度の東日本大震災をのぞき、14年度時点で83.7%と+7.7%まで引き上げることができた。これはトラック70台と乗務員40人をセーブしたのと等しい効果であり、効率化と乗務員不足対応の両立がはかれた好例となった。



Fig. 14 image of current transport management system

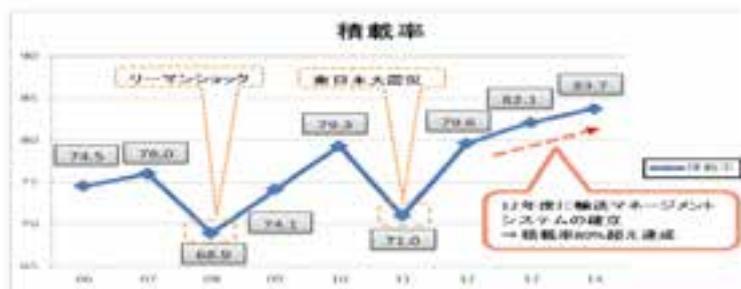


Fig. 15 Changes in loading rates

5. 今後の展開

今回の活動を通じて、我々は多くのことを学ぶことができたが、同時に輸送の将来に対してもいくつかの示唆を与えるてくれる活動であった。直近で言えば、複数ルートを跨いだ車両共用による車数低減（ひいては乗務員削減）の具体化や、クロスドックでの仕分け作業の最適化に発展応用を検討するなどさらなる高度化を目指した活動を継続していく。将来的には、このシステムから得られるビッグデータを活用することによって車両の走行比率やクロスドックでのトラック／製品の滞留時間を見える化しムダ取りによる効率化を図るなど管理の高度化への寄与や、仕入先からの調達部品輸送に適用拡大、あるいは海外拠点へのシステム提供によるグローバルな輸送高度化など応用範囲は今後無限に広がっていく。また現在は本システムをデンソーグループ内のみで運用しているが、冒頭に述べた

ように「広く社会全体で活用いただける標準的なシステム」として完成度を高めることを目指しており、その基本コンセプトは、自動車部品に限らずあらゆる業界で活用できるよう汎用性を意識した設計としている。今後もあらゆる機会を通じて積極的な情報公開を行い同業異業を問わず広く社会で活用いただけるようになれば幸いである。

最後に今回の活動を総括してみると、本来、下流工程であり必要悪とまで言われた物流が、ITという武器を装備することによって新たな競争力を創造するに至り、会社経営を永続的に支える重要機能としての認知度を高め、手前味噌かもしれないが、別次元に一步踏み出すことができたということではないだろうか。

以上

著者



岡山 健治

おかやま けんじ

(株)デンソーロジテム 包装管理課
包装仕様の設定・管理に従事



木村 祐太

きむら ゆうた

(株)デンソーロジテム 直納物流改革課
直納物流センター内の改善に従事



山田 典彦

やまだ のりひこ

(株)デンソー IT ソリューションズ
システム開発2部
デンソー社内システムの開発・維持に従事