

高速幹線物流システムの提案

本研究では、高速道路上の幹線トラック物流を代替する自動貨物輸送システムを計画し、その実現可能性と効果を検討する。第二東名・名神高速道路にこのシステムを導入することを想定し、輸送システムの概念的設計を行い、事業費、運営費の見積もりを行った。また、システムの利用による輸送業者の利用者便益、環境負荷の低減と交通事故の被害削減による国民経済的便益を計算し、計画の事業性ともたらされる効果を定量的に評価した。想定している輸送システムは、トラックによる幹線輸送に近い利便性を有しつつ、輸送コストを低減し、また大型車のもたらす不便益を大幅に低減させうる、実現性の高いものであるという結論が得られた。

キーワード | 幹線物流システム, トラック物流, 第二東名・名神高速道路, 社会経済評価

西田 雅

NISHIDA, Masaru

MSc (財) 運輸政策研究機構運輸政策研究所研究員

北村 公大

KITAMURA, Kimihiro

工修 (財) 運輸政策研究機構運輸政策研究所研究員

中村 英夫

NAKAMURA, Hideo

工博 (財) 運輸政策研究機構運輸政策研究所所長

1 はじめに

我が国の貨物輸送におけるトラックへの依存度は年々増大してきているが、化石燃料の大量消費とCO₂排出、NO_xやSPMなどの大気汚染、騒音、重大な交通事故などトラックに起因する問題は多い。また、トラック輸送は海運や鉄道輸送と比べ労働生産性が低いとの指摘もある。その対策として幹線輸送のモーダルシフトが推進されようとしているが¹⁾、顕著な進展が見られないのが実状である。

本研究では、トラック物流の社会的役割と利便性を認識した上で、その環境負荷を最大限削減し、さらに物流の効率化にも貢献しうる新たな物流システムを提案する。具体的には第二東名・名神高速道路におけるトラックの代替機能を有する新しい自動物流システムの併設であり、その実現可能性を検討するものである。研究の主な内容は、システムの概念的設計、財務・経済的評価および代替案との比較検討である。

2 トラック物流の現状と問題点

戦後、大きな経済成長と自動車の普及、道路網の整備などに伴い、トラック物流は急速に成長した。この傾向は、1970年代のエネルギー危機の時代に一時減速するが、その後も着実に増大を続けてきている²⁾。運輸統計要覧³⁾によれば、平成7年までの10年間のトラック貨物の輸送量伸び率は、トン数にして年1.7%、トンキロに

して3.1%であり、輸送距離の延長傾向も示している。重厚長大から短小軽薄型への産業構造の転換、在庫量を縮小し需要に敏速に対応する生産方式であるジャストインタイム(JIT)の普及は、貨物の小口化、多頻度化傾向を強め、さらにトラック輸送への依存度を高めている。これは一方で、トラックの積載率の低下、ひいては交通量の増大と渋滞、エネルギー効率の低下、著しい環境の悪化の要因となっている。

1997年に京都で行われた第三回地球温暖化防止会議では大幅な二酸化炭素排出の削減が決められ、日本においても各分野での取り組みが行われようとしているが、今後もエネルギー消費の増大が予測されている運輸分野においては、特に早急な対策が求められている。

また、物流業界としてもトラック運送にいくつかの問題を抱えている⁴⁾。近年の規制緩和でトラック業界にも新規参入が相次いだ結果競争が激化し、利益率が低下している。また荷主からはサービスの高度化やコスト削減の要求が強い。少子化は今後深刻な若年労働力の不足をもたらすが、特に労働集約型でまた3K業種として若者に人気のない物流業界では、いっそう深刻な問題となる。さらに最近導入された週40時間の労働時間は人件費が40%を占めるトラック業界のコスト上昇の大きな要因で、人件費の削減、労働生産性の向上の必要性がきわめて高い。長距離のトラック輸送では、長時間・変則勤務による過労運転や過積載など、安全に直結する問題も指摘されている。またドライバーの高齢化も、今後交通安全上の重大な問題となることが予想されている。

こういった状況を解消すべく、よりエネルギー消費が低く、少ない労働力で輸送が可能な機関への転換、すなわちモーダルシフト政策が打ち出されたわけであるが、鉄道、海運への貨物のシフトは進まず、ますます自動車輸送に依存する傾向が続いている。荷主らの輸送機関の選択基準は、輸送コストと時間、サービスの質など明解であり⁵⁾、トラック優勢の現状は、これらの基準に照らしてトラックの競争力が高いことを示している。

一方、我が国の経済を支える東海道沿いの輸送に着目してみれば、鉄道貨物の断面輸送量が4万トン程度であるのに対し、東名高速道路上のトラックは、30万トンほどの輸送を担っている⁶⁾。したがって鉄道の輸送量を少々拡大しても東名・名神上の輸送量に大きな変化は生じ得ない。東海道でトラック輸送を代替して有意な量の貨物を転換するには、鉄道による貨物輸送上の容量制約を解消しなければならない。

以上のように、輸送サービスの提供者であるトラック業界と、そのサービスの直接・間接的な利用者であり、かつその外部性から生活に直接影響を受ける道路周辺住民や一般国民にとって、トラック物流は多くの問題を有しており、その解消が強く望まれている。その実現のため、総合物流施策大綱⁷⁾では既存インフラの有効活用のための物流拠点整備やその間をリンクする道路整備などの諸策をあげ、これらを重点的・優先的に整備する方針が示されている。しかしながら、先に述べた東海道のようにトラックからの転換先としての既存の物流インフラの容量が不足する部分については、新たにインフラを建設することも必要であり、またそのインフラは高い社会経済的効果を有するものでなければならない。

3 幹線物流システム

3.1 計画のコンセプト

ここで提案する新しい輸送システムは、発荷主から着荷主までの輸送のうち東海道における幹線部分の輸送サービスを提供する。これは鉄道貨物と同様に複合輸送の形態を取るが、従来のモーダルシフトに顕著な進展が見られないことを反省し、現行のトラックからの転換が容易であるシステムを実現することを最大の目標とする。そこで、鉄道貨物の利用上ネックとなる項目を考察した上で、以下のような開発コンセプトを定めた。

接続点で荷役が発生しない

利用者(トラック)側に特別な設備が不要

24時間稼働、随時利用

トラック輸送と同程度の所要時間

上記の条件を満たすためにトラックを直接車両

に乗せ輸送するピギーバック方式をとり、を満たすためにそれぞれの車両が単独に走行するという輸送形態を取ることにした。このほか、当然ながらエネルギー効率が高く有害ガスを排出しないことも必須条件となる。

全システムとしては、車両と専用軌道、システムへの接続部となるターミナル、電力設備、自動運転設備、情報通信設備および検修設備などにより構成される。以下では、これらの主要なコンポーネントについて概説する。

3.2 車両

車両の検討を進めるにあたって、以下のような仕様を定めた。

電気を動力源とする

無人走行が可能

普通貨物自動車を積載可能

平均輸送速度80km/hで走行

ROROが可能なフラットな荷台を持つ

(RORO:ロールオン、ロールオフ)

このシステムでは同時に数千台もの車両が独立して貨物を輸送する。これらを外部から集中制御するにはきわめて複雑・大規模な制御システムが必要となる。そこでターミナル前後区間などの一部を除いては車両自体が持つ自己走行制御機能によって運行される方式を採用することとした。これは鉄道のATO(自動列車運転装置)⁸⁾のように既定走行パターンにしたがった走行をする機能と、高速道路上の自動車の自動運転技術(AHS)⁹⁾の一つである前後方を走行する車両との車間を自動調整する機能を組み合わせたものである。いずれも実用化あるいは実証済みの技術である。これによって、簡便な制御システムの実現が可能であるとともに、鉄道のようなダイヤが不要となり、随時利用できるという柔軟性が得られる。

駆動方式は、自己走行制御を可能とするため、車両自体が駆動力を持つ方式とする。回転型モータ、車上1次のリニアモータなどが適用可能である。また支持方式には鉄車輪(+鉄レール)、ゴムタイヤ(+ガイドウェイ)、磁気浮上などが考えられる。これらの方式それぞれの優劣を検証する必要があるが、本研究では当システムの財務・経済的な評価を行うことが大きな目的であるため、各種データの得やすい「従来型」の回転モータと鉄車輪を組み合わせた車両を原案として設定した。車両はこの駆動装置の上にフラットな荷台を持つ形となり、鉄道貨物におけるピギーバック輸送形式の貨車がそれぞれ独立自律走行するイメージとなる(図1, 上図)。

また、コンテナやスワップボディー¹⁰⁾のようにトラック本体から離脱可能なユニットは、それのみを積載できるよう固定具を備えるものとする。

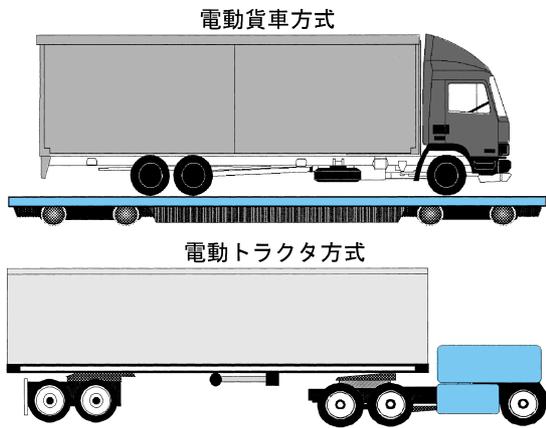


図 1 車両のイメージ図

車両諸元は表 1のとおりである。

また、上に述べた車両の代替案として、コンテナトレーラーを牽引する形式の輸送方法も検討する予定である。この場合、車両はゴムタイヤで支持し、コンクリートのガイドウェイ上を走行する。この形式の車両は、図 1の下図に示している。

3.3 軌道

このシステムの専用軌道は、第二東名・名神高速道路の上下線それぞれの中央分離帯側第三車線の位置に敷設するものとした。第二東名・名神高速道路は、鉄道軌道としても問題のない良好な平面・縦断線形を有しているが、そのため全延長におけるトンネル、高架・橋梁区間の割合が非常に高い¹¹⁾。したがって中央分離帯の存在する区間は限られており、連続した軌道を敷設するためには第三車線部分を転用する必要が生じる。中央分離帯の存在する区間ではそこにもう一条の軌道が敷設可能となり、以下で述べる分合流用レーンとして利用する。

合流レーンは、ターミナルから高架で道路部、本線軌道部を超え中央分離帯に至り、ここで本線と一定距離併走したあと、本線軌道へ合流する。ターミナルから本線に向かう車両は併走区間走行中に加速し、本線走行中の車両との位置を調節する。合流点には本線定位の割り込み分岐器を設置してあり、車間に割り込むように合流していく。

本線からターミナルへの分岐については、ピーク時には数秒に一台の頻度で通過する車両がそれぞれ別の目的地をもっているため、この振り分けを軌道側で行うことはきわめて困難である。そこで、既存技術の応用として、ガイドウェイ式新交通等で用いられている分岐輪を車両側に設備し、地上側に固定されたガイドレールを車両自身が選択的に使用し進路を選択する、車上分岐方式とする。分岐点で時速20kmくらいまで速度を落として

表 1 車両および電力設備の諸元(電動貨物方式)

・主要寸法	長さ：13.5m，幅：2.8m，高さ：0.7m
・重量	自重：15t，最大積載量：25t，合計：40t
・最高速度	100km / h
・台車	交流誘導モータ付き2軸ボギー車
・モータ出力	300kW
・制御方式	VVVFインバータ制御
・制動装置	回生ブレーキ(常用)，ディスクブレーキ(非常用，停車用)
・走行制御	プログラム走行(ATO)，車間測定レーダ

表 2 電力設備諸元(直流1,500V)

・電力機器設備	各ターミナルに受電・き電・所内用変電所
き電変電所	7km毎
電力回生インバータ装置	35箇所
・電車線路設備	第3レール方式
・電力管理システム	中央処理装置(無人遠隔監視)

も、地上分岐のように長い車両間隔(閉塞区間)を必要としないため、本線の車両走行密度を損なわない。分岐レーンは、一旦中央分離帯側に分岐し、高架で高速道路外へ出る。

軌道を走行する車両は、数キロおきに設けた地上側通信装置(地上子)と位置情報を交換する。この位置情報をもとに、各車両はプログラムにしたがって走行するが(ATO)、それに加えて前後の車両との距離をレーダで検知し、適当な車間距離を保つ(AHS)。上記の分岐・合流区間では、外部からの走行制御が必要になる。

電力システムには、直流方式を採用する。これは一般に、直流方式のほうが車上設備が小型になり車両重量の軽減に役立つこと、そして回生ブレーキを導入しやすいことなどの理由からである。電力設備の諸元は表 2のとおりである。

3.4 ターミナル

ターミナルには、到着・出発を行うためのプラットホーム、プラットホームへのアクセスとなるランプウェイ、事務棟、到着トラックを待つ運転手のための待機室などを設ける。効率の高いROROによる接続方式と随時発車のため、乗り込み待ちのトラックが待機する駐車場は最小限のもので済む。そのほか、到着・出発車数のずれに対応するための車両格納場所を必要に応じて設ける。

プラットホームには、上り方面向け、下り方面向けの最低2レーンが必要となる。各レーンは、レーン軸方向に、車両からトラックを降ろす到着ブロック、暗渠部、トラックの積載と出発前の自動車両点検を行う出発・点検ブロックの3ブロック構成となる。各ブロックでの作業は同時進行が可能とし、運用効率を高める。また、コンテナ、スワップボディの積卸のためのクレーンも設置する。ここで1レーンの処理能力を考える。RORO船の例を

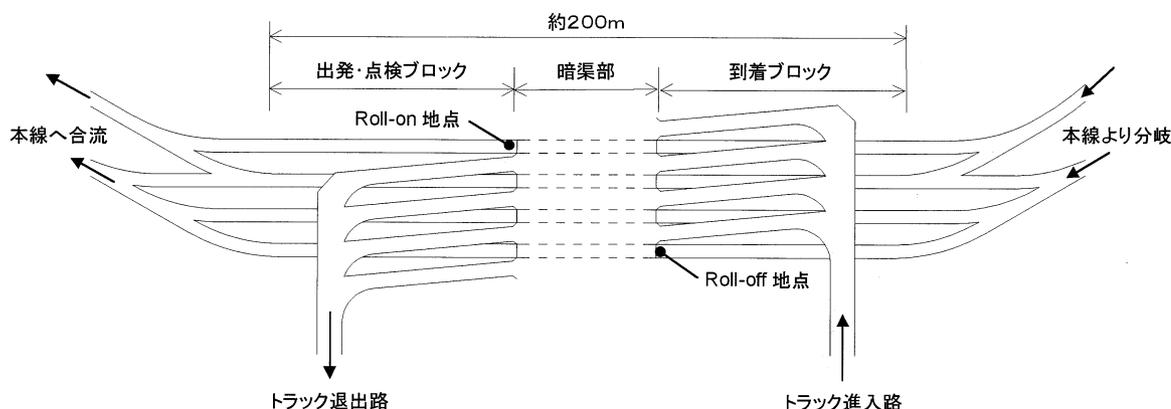


図 2 ターミナル平面の模式図

参考にすると、トラック積載の所要時間は

Roll On 120s以内

Roll Off 90s以内

程度である。より時間のかかるRoll Onがレーンの処理能力を決定する。サイクルタイムは上記120秒に固定確認等の所要時間90秒を加えて210秒とする。仮に5台同時にRoll Onして並列処理を行うものとする、この1サイクルタイムで5台の出発が可能になり、したがって1レーンの最大処理能力は出発台数85台/時と算出できる。出発車のピーク率を6.2%とすると、1レーンの日あたり出発可能台数は1,360台となる。各ターミナルの利用台数に合わせレーン数を増減すれば良い。

図 2は、4レーンで構成されたターミナルの平面を模式的に示したものである。このようなターミナルの設計が可能であれば、現在考えている最大規模のターミナルでも高速道路のサービスエリア程度の面積の土地に設置が可能となる。

ターミナルは、空間の有効利用とアクセス利便性を確保するため、高速道路のインターチェンジエリアに併設するのを基本とするが、トラックターミナルや港湾施設などの既存の物流拠点やその新規計画などがある場合、できるだけ物流拠点と一体化することを目指す。これにより端末輸送のコストを軽減、あるいは省略することができ、当システムのコスト競争力が増し、また物流効率の改善に役立つことになる。高速道路と物流拠点の間に多少距離があっても、連絡軌道を延長して直接接続することの意義は大きい。

3.5 制御・通信

重複して述べるが、各車両は自己走行制御を行う。地上側で必要な設備は、位置確認のための地上子、合流での閉塞設備、ターミナル構内の制御設備である。ただし、安全対策のための緊急停止およびその解除は、全線およびエリア別に指示が可能なシステムとする。

当システムの情報通信設備には、ITSで開発された技術の大幅な採用が必要とされる。特に、料金收受および積み荷(トラックあるいはコンテナ)チェックはETCの技術を採用し、データ処理の簡素化をはかる。また、当然ながら利用車、積み荷の位置や到着時間などの情報は、物流EDIを通じて荷主、輸送業者にリアルタイムで供給され、これによる高度なロジスティクスが可能となる。

3.6 エネルギー効率と環境負荷の比較

以下では、トラックとトラックを積載した当システム車両のエネルギー効率を比較する。

3.6.1 エネルギー効率

鉄道列車の走行抵抗の予測式はいくつか提案されているが⁸⁾、当システムのような各車両の単独走行に直接適用できるものは見あたらない。ここでは便宜的に、電気機関車の走行抵抗式を利用した。総重量40t、時速80km走行という条件では、電気機関車は72kWの電力を必要とする。また、新型の電気機関車DF200¹²⁾は、出力1800kWで1000tの貨物を時速100kmで牽引する。40tあたりの出力は、先の結果と同じく72kWとなる。

当システムの車両の場合、単独走行であるためその分走行抵抗は増大する。その分を25%見込むものとして、90kWの電力が走行に必要であると想定した。車両が満載状態の10tトラックを積載している場合、電力の発電効率39%、送電ロス5%を考慮して、輸送のエネルギー効率は260kcal/t-kmとなる。

またこれと比較しうるトラックのエネルギー効率であるが、一般に知られているトラックのエネルギー消費原単位(自家用トラック:2,273kcal/t-km、営業用トラック:706kcal/t-km)¹³⁾と比較し、高速道路を走行している大型トラックは、ほぼ一定速度での走行や高い積載率のため、かなり高効率での輸送を実現していると考えられる。ここでは、いくつかの資料を参考¹⁴⁾に284kcal/t-km

表 3 エネルギー効率の比較

	貨物輸送のエネルギー効率
10tトラック自走	284kcal / t-km
当システム車両	260kcal / t-km
当システム車両 + 回送	286kcal / t-km

(満載状態の10tトラックが、1リットルの軽油で3.5km走行可能)という値を使用する。

実車走行のみを考えると、トラックと比較し当システムの車両は若干エネルギー効率が良いことになる。しかし、当システムでは車両の回送が必要となる。現東名・名神のデータ¹⁵⁾によると、主要なインターチェンジ間交通のバランス(上り、下りの日交通量差)には5～10%の差異が認められる。回送時には車両重量が軽く、空気抵抗も激減するためかなりエネルギー消費が小さくなるが、ここでは安全を取って回送に必要な電力を10%見込むこととする。これにより、エネルギー効率は両者ほぼ等しくなる。

3.6.2 環境負荷

トラックの走行によるNOx、SPMなどの大気汚染物質の排出については、環境庁がその排出原単位を求めている¹⁶⁾。各原単位は、車両・重量区分、走行速度区分、車令によって異なる対応排出ガス規制年度区分に分けられているが、ここでは、車種としてディーゼル重量貨物車(直噴式、車両総重量5t超)、速度区分として60～80km/hr(代表速度70km/hr)、最新の規制値に対応した車両のものをを用いる。

各原単位は次のとおりである。

NOx排出量原単位 0.34g/t-km

SPM排出量原単位 0.06g/t-km

トラックが当システムを利用して電力による走行に転換した場合、NOxの排出は不特定移動排出源からの線的な排出から発電所における点排出となり、大気中の汚染物質濃度の分布とその住民への影響の形態は全く異なったものになるが、ここでは総量のみを比較対象とする。

電力消費時のNOx排出原単位は、東京電力、中部電力、関西電力の排出原単位をそれぞれの電力会社の発電電力量で加重平均した以下の値とした¹⁷⁾。

発電時のNOx排出量原単位 0.12g/kWh

SPMはディーゼルエンジンに固有な排出物質であるため、当然ながら発電所からの排出はない。

トラックのCO₂排出については、軽油中に含まれる炭素原子の重量から、炭素換算排出量(単位：g-C)を求めるものとする。発電所からの排出は、NOxの場合と同様に3電力会社の排出原単位を発電量で加重平均して、

84.4g-C/kWhとなっている。

以上の条件で、当システムの利用とトラックの自走を比較すると、これらのガスの排出量は走行台キロあたり以下ようになる。

	当システム車両	トラック自走
CO ₂	110.7g-C	206.9g-C
NO _x	0.1g	6.1g
PM	0.0g	1.1g

トラックの自走と比較し、CO₂排出は54%と半減し、NO_xの排出はほとんどなくなる。

最後に、騒音の比較を行ってみたい。ここでは単純な比較として、2万2千5百台/日のトラックと当システムの発生する騒音を考える。

トラックの発生する騒音は、日本音響学会のエネルギーモデル式で計算した¹⁸⁾。一方、当システムの発生する騒音は鉄道総研式¹⁶⁾で予測したが、本来この予測式は列車の騒音を対象としたものであり、車両の単独走行に適用できる保証はない。結果は以下のとおりである。

	トラック	当システム
等価騒音レベル	74.7dB(A)	64.7dB(A)

以上、エネルギー効率と環境負荷について、トラックの走行と当システムの比較を行った。個々の数値の精度には改善の余地もあるが、それを考慮しても大幅な環境負荷の低減効果が期待されることになる。エネルギー効率については、当システムではトラック自体の輸送や回送を行う必要もあり、ほぼ同じエネルギーを消費する結果となっている。よりエネルギー効率を高めるためには、コンテナやスワップボディーを使った輸送を積極的に誘導していく必要があるが、先に述べたような当システムと物流拠点との直結が可能であれば、こういった輸送形態の一般化にも役立つと考えられる。

4 需要の想定

輸送機関の選択にあたっては、所要時間とコストが最大の選択基準であることはいままでもない。また、特に物流の場合、荷傷みの無いことも重要であるが、当システムによる輸送を鉄道貨物輸送に相当するものと考えると荷痛みの面でトラックと比べて劣るとは考えがたい。所要時間に関しては、当システム車両の定常走行速度を80km/hrとすることによりトラックの走行と同等程度を確保するものとした。これは現東名名神高速道路の制限速度を念頭に入れたもので、仮に第二東名名神高速道路の走行速度がこれを上回る場合には、それに対応し

た高速化をしないと、システムの利用が時間費用の増大につながることになる。

当システムを利用するにあたっての最大の障害は、輸送が「中抜き」になる、すなわち輸送経路が3分割され、最初と最後のレッグでは別のドライバー（あるいはトラック）が輸送を受け持たなければならないことにある。前の章でも述べたように、当システムの構想にあたってはモード間の接続が最小の時間、労力で行なえるよう計画をしているが、システムの利用を図る上での問題は接続の容易さだけでなく、比較的高い端末のトラック輸送コストを含めた上でより低いトータルコストを提示しなければならないことにある。これは鉄道貨物の普及における最大の障害のひとつでもある。長距離の一貫輸送では単位距離当りの輸送コストが短距離輸送の場合と比較して劇的に安くなるため、短距離の接続が必要な複合輸送はどうしても高くなりがちになる。

また、上記のような「中抜き」輸送の場合、広域的に事業を展開している物流企業を除き、出荷時のトラック業者と別の業者が貨物を引き取り着荷主まで配送する必要が生じる。これまで、中小トラック業者を中心に協同組合のような業務ネットワーク化が進んできているが、その目的は燃料や資材の共同購入、高速道路料金の別納料金制利用、帰り荷確保のための情報交換などを通じ、コスト低減を計ることにあつた。当システムの利用にあたっては、このようなネットワークのさらなる広域的展開による連携業務も必要になろう。また、フォワーダーのような新規産業が生まれる可能性も考えられる。

以上のように、当システムの利用には動的な市場の対応も一部必要であり、またコスト比較も単純ではないため需要の予測は難しい。ここでは、大幅に単純化した考え方をとり、転換する交通量を想定することとする。この需要想定の特長については、次章でコスト競争力の検

討をするとともに感度分析を行って補強したい。需要想定の手順は、以下のとおりである。

現況の東名・名神高速道路の交通量データ¹⁵⁾(平成8年)をベースとし、これに交通量の伸び率を乗じて将来交通量とする。ここで、第一および第二東名・名神を一本の幹線とみなし、また第二東名・名神の開通による誘発需要は考えない。交通量伸び率は資料²⁰⁾を参考に、営業用トラックの輸送トン数の予測値をとって、以下のように設定した。

1996-2010年：1.3%

2010-2020年：0.8%

2020年以降：0%

第二東名・名神高速道路沿いに、11箇所のターミナルを仮設定し(図3参照)、150km以上の利用距離帯にあるODをもつトラック(普通貨物車)の数を求める(現時点で第二東名・名神の整備計画は海老名南IC以西についてしか決定されていないため²¹⁾、海老名南ICを暫定的に東側終端としている。)

システム利用により輸送に費やされる一般化費用が約1~2割低減するよう料金を設定するものとし、上記トラックのうち80%がシステムの利用を選択すると考える。料金の設定については次章で述べる。

以上の条件のもと利用車数を計算し、平成22年の第二東名・名神高速道路開業時点において次の数値を得た。

日利用台数 30,000台

日走行キロ 7,600千台キロ

利用車数は、高速道路を利用する普通貨物車の14%にあたるが、長距離走行車からの転換を考えているため、総走行距離としては40%の転換となる。断面交通量は最大区間で22,500台/日、ターミナル利用台数は最大の海老名南で10,000台/日となっている(図4参照)。

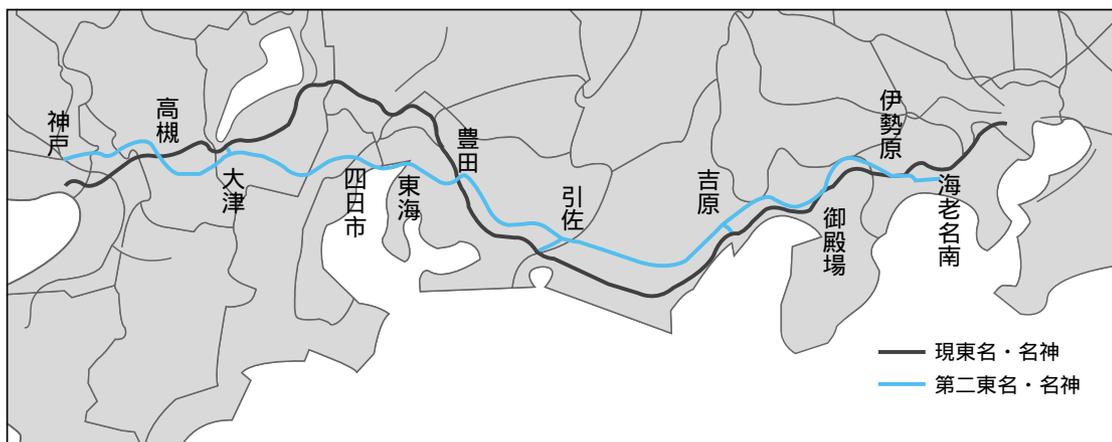


図3 ターミナルの配置

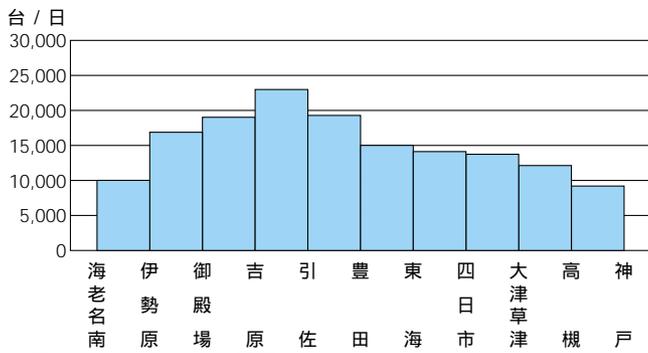


図 4 想定した転換需要

5 財務・経済的評価

5.1 財務的評価

財務分析では、建設費、運営・維持管理費、料金収入の試算結果をもとに、財務的内部収益率(FIRR)による評価を行なう。

建設費は、軌道、ターミナル、電力設備、信号保安設備、総合管理システムなどの項目に分け、過去の鉄道や新交通システムなどの建設単価などを参考にしながら見積を行なった。項目毎の費用は表 4のとおりとなっている。

ここには、用地費を含んでいない。また軌道費は、道路基盤より上の部分のみを対象としている。これらについては用地、道路基盤の使用料として道路管理者に毎年支払う方式を取るものとする。

また、年間の運営・維持管理費は表 5のとおりとなった。車両修繕費は、JR貨物の修繕費²²⁾から車キ口あたりの費用原単位を求めその半額とした。軌道・電路修繕費は、JR東海の修繕費²²⁾から全車両走行キ口に対する新幹線走行キ口の比により東海道新幹線の費用原単位を推定し、全線スラブ化や軌道上の可動部の省略、旅客輸送を行わないことなどから大幅な保守の省力化、合理化が期待できるものとしその30%を用いた。道路基盤使用料は、転換車両走行1キ口当り25円を支払うものとして決めている。

これらの経費に対し、収入は以下のように見積もった。当システムを利用して複合輸送を行う際の荷主の金銭的成本は、その発生順に、発荷主からターミナルまでの輸送費用、ターミナル間のシステム料金、着ターミナルから着荷主までの輸送費用を加えたものとなる。発荷から着荷まで一台のトラックが占有されるため、システム利用時間中もその償却費が発生し、これも費用に含まれることになる。システムの利用を積極的に誘導するためには、これらの和がトラック貸切による一貫輸送の料金と同等以下であることが必要である。ここでは資料²³⁾から10tトラックの一車貸切料金(距離制)を参照し、シ

表 4 事業費の試算結果

項目	費用(億円)	備考
軌道	1,480	延長460km, 複線
ターミナル	1,000	11箇所
電力・き電設備	4,340	
信号・保安設備	1,510	
総合管理システム	120	
車両	6,000	1万2千台
合計	14,450	

表 5 運営管理費の試算結果

項目	費用(億円)	備考
電力費	480	単価14円/kWh
車両修繕費	110	
軌道・電路修繕費	260	
運営・管理費	70	
道路基盤使用料	700	
合計	1,620	

ステム料金に30km程度の短距離輸送運賃を前後に足したものが、おなじ総距離を貸切で一貫輸送した場合の8~9割となるよう、料金を決めた。

以上より決定した料金は、距離、トラックのサイズにより異なるが平均的には1kmあたり90円前後となっている。これにより年間の料金収入は2,500億円となる。

税については、高速道路の例をとって、法人税、固定資産税等は考慮しない。車両は、耐用年数を13年として、購入13年後に残存価値10%を残して買い替えるものとする。

以上の条件で、開業以降40年間の評価を行なうと、財務的内部収益率3.5%を得る。

5.2 経済的評価

経済的評価にあたっては、社会的便益として輸送コストの低減による利用者便益、CO₂や大気汚染物質の排出量の減少と騒音の低減による環境改善便益、大型車の転換・分離による交通事故減少便益を考慮する。また、ここではシステムの運営主体と道路管理者を一体と考え、第二東名高速道路に追加的投資を行ってシステムを建設、運営した場合に追加的に生じる社会的便益を計測対象とする。

環境改善便益および交通事故減少便益については、OECD²⁴⁾がドイツを対象に求めた長距離輸送トラックの社会的費用原単位を用いるが、最近、道路投資の評価に関する指針検討委員会より評価指針¹⁸⁾が発表されたため、これに準じた定量化も行なって比較してみたい。

5.2.1 利用者便益

前節で述べたトラックの貸切料金(一貫輸送, 端末輸

送いずれも)は、5%の営業利益を含むものと考え、これを除いたものをトラック輸送の経済費用とする。システム利用による利用者便益の増分は、利用のない場合の経済費用から利用のある場合の経済費用を減じたもので表わされ、これを年間の総転換交通量についてまとめると以下の額となる。

利用なし(without)	5,340億円
利用あり(with)	3,000億円
余剰増分	2,340億円

ここでは考慮していないが、システム利用車の中にはコンテナあるいはスワップボディ輸送を選択するものが存在する。この場合、トラックごと輸送する場合と比べ、輸送中のトラックの固定費が省略されるため、利用者便益は拡大する。また、輸送に必要なエネルギー(電力)も節約されるため、システム側に費用低減効果が発生し、さらに環境面での便益の増大にもつながる。

5.2.2 環境改善便益および交通事故減少便益

OECDの報告している長距離トラックの社会的費用原単位は以下のとおりである。ここで、大気汚染物質としてはNO_x、SO₂、VOCsが考慮されている。

大気汚染	5.6
CO ₂	2.5
騒音	0.6
交通事故	3.5

(単位:ECU, 1993年価格, 1000t-kmあたり)

これを日本円に換算(ECU1=150円)し、大型トラック1台あたりの積載量が9tと仮定して大型トラック台-キロあたりの表示に改めると以下のとおりとなる。

大気汚染	0.81円
CO ₂	0.36円
騒音	0.09円
交通事故	0.51円

前章で述べたとおり、二酸化炭素の排出量は54%となるため、上記原単位には0.54を乗じる。また、騒音については、あとで述べる理由により費用を0とする。ここから、トラックが当システムに転換することによる社会的費用の減少額は表 6のとおりとなる。

以下では、道路投資の評価に関する指針(案)¹⁸⁾(以下、「指針」と呼ぶ)を準用して社会的便益の定量化を試みる。

大気汚染については、「指針」ではNO_xの被害を対象としている。社会的費用原単位は道路周辺の土地利用により人口集中地区、その他市街部、非市街部(平地部)、非市街部(山地部)の4区分に分類されているが、ここではその代表値58万円/トンを用いることとする。

二酸化炭素排出による社会的費用は、2300円/t-Cとされている。軽油の場合、およそ1,400リットルに1トンの炭素原子が含まれている。

騒音に関して、新設の道路整備においては、遮音壁や環境施設帯などによる騒音対策で、等価騒音レベルで55dB(A)の目標値を達成することになっており、これを越える場合にのみ、騒音の被害を貨幣評価するというのが「指針」の方針である。したがって当システムでも等価騒音レベルをこの目標値内に収めるよう対策をとる必要があり、また騒音の貨幣評価額はいずれの場合も0となる。

なお、当システムの発生する騒音は同じ交通量の大型トラックによるそれと比較して小さくなることを先に示したが、参考のためシステムへの転換あり/無しの場合の全交通による発生騒音レベルを求めてみた。対象は、先の需要予測で最大の転換交通量2万3千台/日のみられた区間で、この断面での総交通量が4章で考えたトラック交通量と同様に増大すると仮定すると、以下のようになる。

乗用車	37,000台
貨物車	38,000台 うち、転換車 22,500台

この総交通量における等価騒音レベルは77.8dB(A)、システムの導入による転換のある場合は75.6dB(A)で、約2dBの低下となる。これは残存交通量の騒音レベルにかなりの影響を受けており、実際は、転換車以外の残存交通量は第一、第二東名に分散して小さくなるため、騒音の低減効果はこれより大きくなることが予想される。

交通事故減少

「指針」では、道路交通の交通事故による社会的費用原単位の算出にあたり、単位交通量における人身事故発生件数に人身事故一件あたりの人的、物的損失額および事故渋滞損失額を乗じて費用原単位を求め、これを道路区分毎に整理している。ここで、事故に関与した車両の種別は考慮されていない。現実には、大型車両が事故に関与する場合、被害がより大きいことは間違いないため、大型車のみを転換・分離させる当システムに適用する場合補正が必要と判断した。資料としては小谷らの研究²⁵⁾を参照し、全事故平均値と比較した大型車

表 6 OECD²⁴⁾を用いた社会的便益額

項目	年額
大気汚染	225億円
CO ₂	55億円
騒音	0億円
交通事故	140億円
合計	420億円

表 7 指針¹⁸⁾を用いた社会的便益額

項目	年 額
大 気 汚 染	99億円
CO ₂	6億円
騒 音	0億円
交 通 事 故	35億円
合 計	140億円

が第一当事者として関与した事故における死傷者発生度数の相対的高さ、渋滞時間の相対的長さを割り増し係数とした。この結果、「指針」では高速道路上の交通事故の社会的費用原単位が340円/年/日走行台キロであったものを460円/年/日走行台キロとした。

以上、システムへのトラック交通の転換によりもたらされる社会的便益は表 7のようにまとめられる。

OECDの原単位を用いた場合と比較して、いずれの項目も低い額となっている。大気汚染では、NO_xのみを対象としていること、交通事故損失の算出に用いている死亡事故の人身損失額が、欧米のそれに比べかなり小さいことなどがその理由としてあげられる。

5.2.3 経済的内部収益率

以上の条件で40年間にわたり経済的内部収益率を求めると、OECDの社会的費用原単位を用いた場合、EIRR=11.5%という結果が得られる。また、社会的割引率4%を用い、プロジェクトの40年間の価値を現在価値へと換算すると、1兆560億円、便益 - 費用比として1.55が得られる。

また、「指針」に準じて社会的便益を求めた場合は、EIRR=9.52%、便益 - 費用比1.39となる。

5.3 感度分析

上記の財務、経済的内部収益率の感度分析を以下に行う。条件設定は「指針」によると需要、事業費について10%減少あるいは増大するケースを推奨しているが、前述のように需要予測における不確実性が強いために、ここではより安全側の条件設定として以下のようなケースを設定した。また、追加的に運営・維持管理費についても10%あるいは20%増大のケースを設定する。これらの結果は、表 8のとおりとなる。

財務に関してはオリジナルケースでもあまり良好ではないため、特に大きな需要の減が見られる場合の悪化が著しい。事業費の財源問題や道路管理者への基盤使用料の決定、システム利用料金の設定などの問題を含め、どういう形で補助を行うか議論の必要な部分である。しかしながら、経済的内部収益率は全般的に高く、最も悲観的な条件、すなわち転換需要を30%減少させ

表 8 内部収益率の感度分析結果

	FIRR	EIRR(OECD)	EIRR(指針)
原 ケ ー ス	3.53	11.46	9.52
需要 10% 減	2.28	9.87	8.04
需要 20% 減	0.91	8.20	6.47
需要 30% 減	-0.63	6.42	4.79
事業費 10% 増	2.77	10.28	8.46
事業費 20% 増	2.10	9.27	7.54
運営費 10% 増	2.69	10.86	8.90
運営費 20% 増	1.86	10.26	8.25

たケースにおいても「指針」の推奨する社会的割引率4%を上回っている。需要の想定条件や、将来の社会経済状況などが変化した場合においても、十分な社会的便益を生み出すことが期待される結果となっている。

6 まとめ

本研究では、第二東名・名神高速道路に新しい幹線物流システムを計画し、その費用と期待される社会的便益を推定した。その過程においては未だ様々な不備があるが、それを見込んだとしても、十分大きな社会的便益が期待されるという結論を得た。

大型車の転換・分離には、高速道路の騒音対策費を軽減し、路面保守の必要性とそれにかかるコストを大幅に押さえ、また乗用車の高速道路走行の快適性を増すという、ここでは定量評価していない効果も存在する。エネルギー効率は、トラックに比べ特に優れているわけではないという結果であるが、コンテナやスワップボディ輸送が混入してくることによる改善の余地があり、また輸送に必要なエネルギー源を多様化させるという大きな意味を持っている。

自動車交通のもつ様々な問題、特に大気汚染の問題が注目を浴びている現在、その主要因となっている大型トラックの走行を代替する輸送システムの開発は、非常に大きな社会的意義を持っている。また当システムは、高速道路に従来型の「自動車の通路」以上の機能を付加する一方策、すなわち「高速道路の近代化」の試みとして捉えることもできよう。さらに、そういった輸送インフラは、これまでの自動車、鉄道といった枠組みにとらわれない総合交通体系的な考え方に基づいて国民経済的に評価し、最も好ましいものが選択されていくべきである。

本研究にはまだ課題も多いが、新たな輸送インフラの先例として実現するよう鋭意検討を進めている。同時に、関係機関で具体化に向けての取り組みが進められることを期待するものである。

参考文献

- 1) 運輸省編,「運輸白書」,大蔵省印刷局.
- 2) 谷利 亨[1990],「道路貨物輸送政策の軌跡」,日通総研選書,白桃書房.
- 3) 運輸省運輸政策局,「陸運統計要覧」.
- 4) カーゴニュース編[1998],「現代のトラック産業」,交通ブックス110,成山堂書店.
- 5) 三戸裕子[1995],“荷主の目から見たJR貨物の貨物事業”,*JR Gazette*, 1995年11月号.
- 6) 中島啓雄[1997],「現代の鉄道貨物輸送」,交通ブックス106,成山堂書店.
- 7)「総合物流施策大綱」,平成9年4月4日閣議決定.
- 8) 久保田博[1995],「鉄道工学ハンドブック」,グランプリ出版.
- 9) 走行支援道路システム開発機構[1997],「AHS研究報告会資料」.
- 10) 長谷川雅行[1998],“複合輸送用スワップボディの開発”,「ロジスティクスシステム」,Vol.7.No.2.
- 11) 田村幸久[1995],“第二東名・名神 その技術的課題と取り組み(上)”,「高速道路と自動車」,第38巻,第3号.
- 12) 日本貨物鉄道株式会社,「DF200形式電気式ディーゼル機関車パンフレット」.
- 13) 運輸省運輸政策局情報管理部,「平成8年度版 運輸関係エネルギー要覧」.
- 14) 例えば,佐藤康治,高木徹,岡田和義[1997],“混載輸送による自動車貨物輸送の改善”,「自動車交通」,日産自動車 社会・商品研究所,1997年2月.
- 15) 日本道路公団,「平成8年IC・相互間交通量」.
- 16) 野村総合研究所[1998],「自動車排出ガス原単位および総量に関する調査」,環境庁委託調査業務報告書.
- 17) 各電力会社WWWサイト資料による.
- 18) 道路投資の評価に関する指針検討委員会編[1998],「道路投資の評価に関する指針(案)」,日本総合研究所.
- 19) 森川靖生[1996],“在来鉄道の新設又は大規模改良に際しての騒音対策指針 - 解説案”,「鉄道施設協会誌」,1996-5.6.
- 20) 財団法人運輸経済研究センター[1998],「経済社会の変化と運輸部門の課題に関する調査報告書」.
- 21) 日本道路公団静岡建設局,「第二東名・名神 未来をひらくスーパーハイウェイ」.
- 22) 運輸省鉄道局,「平成8年度 鉄道統計年報」.
- 23) カーゴニュース,「主要荷主の運賃・倉庫料金の実態」,18回改訂版,平成8年8月調査,物流合理化シリーズ,カーゴニュース.
- 24) OECD[1994],*Internalising the Social Cost of Transport*, OECD/ECMT.
- 25) 小谷充宏,久米富美男[1997],“高速自動車国道における大型貨物車の走行実態と交通事故の状況”,「高速道路と自動車」,第40巻,第5号.

(原稿受付 1998年8月14日)

An Automated Freight Transport System

By Masaru NISHIDA, Kimihiro KITAMURA and Hideo NAKAMURA

This study explores the possibility of an automated freight transport system that replaces long-distance lorries on Tomei Expressways, arterial motorways connecting Tokyo and Osaka. A conceptual design of the system is done on such components as wagons, tracks, transfer points and control systems. Capital and operation/maintenance costs are estimated and social gains from lowered transportation cost and reduced environmental externalities are evaluated. The result is favourable to the implementation of the system: the system would deliver high social returns, by offering cheaper alternative to freight operators, and greatly reducing losses from air pollution and traffic accidents.

Key Words : **automated freight transport system, combined transport, social cost of transport**

この号の目次へ <http://www.jterc.or.jp/kenkyusyo/product/tpsr/bn/no02.html>