

地下物流システムに関する研究

A Study on Underground Goods Transport Systems

越 正毅* 谷口 栄一** 河野 辰男***

By Masaki Koshi, Eiichi Taniguchi, Tatsuo Kono

This paper proposes a new underground goods transport system. The system was studied for coping with traffic problems in large cities like Tokyo. Recently we have some problems on goods transport; 1) severe congestion in urban roads, 2) environmental problem especially caused by large trucks, 3) energy problem, 4) shortage of truck drivers and increase of their average age, 5) shortage of land for terminal facilities.

We analyzed the characteristics of goods transport in Tokyo. It is found that most part of goods transport is shared by automobiles and that goods of smaller weight increased and the frequency of their transport also increased.

A proposed new underground goods transport system is designed to reduce 20-30 % of goods transport on the ground by automobiles.

1. はじめに

大都市圏の物流の内、圏域外との流動については貨物自動車、鉄道、船舶等によって輸送分担されているが、大都市圏内々の物流はそのほとんどすべてが貨物自動車により分担されている。

しかもこのような状況の中で、産業構造や国民生活の高度化、多様化に伴い貨物が小口・多頻度化するとともに、ジャストインタイム輸送が強く求められている。

しかしながら、最近の貨物自動車輸送を取り巻く問題は、道路混雑、大気汚染等の環境面、エネルギー消費、運転手の高齢化及び労働力不足、ターミナ

ル施設用地の不足等多岐にわたって存在している。

そこで、本稿ではこれらの問題点を解決するために、大都市圏内における物流の現状と将来の輸送ニーズの動向を踏まえて、道路交通を代替し混雑緩和に寄与する地下空間を利用した新しい物流システムについて検討した結果を報告する。

2. 研究方針

本研究では、代表都市圏として東京都市圏を取り上げ、特に東京23区（以下では東京区部と称する）に着目し以下の項目について検討した。

①現状の物流の整理

東京都市圏物資流動調査データ等を用いて、主要な物流ターミナル施設の立地状況と貨物車の流動特性を整理して輸送上の問題点を明らかにする。

②地下物流システムの持つべき機能の整理

現状の貨物車輸送の問題点に対応した新物流システムに転換可能な物流を特定する。そして、貨物車の持つ輸送の利便性、随意性といった長所や需要側

* 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科
(〒113 東京都文京区本郷 7-3-1)

** 正会員 工博 建設省土木研究所 新交通研究室
(〒305 茨城県つくば市大字旭1番地)

*** 正会員 建設省土木研究所 新交通研究室
(〒305 茨城県つくば市大字旭1番地)

の輸送ニーズを整理し、これらに対応するために地下物流システムが備えるべき機能を明らかにする。

③地下物流システムの提案（システムイメージ）

既存の物流システムの特徴を整理し、問題解決に効果的なシステムを選定して導入イメージの具体化を行う。

④システムの評価

選定したシステムについて、東京区部をモデルケースとして整備効果を明らかにし適応性を検討する。

3. 貨物車輸送の問題点

ここでは貨物自動車による輸送を取り巻く問題点を整理し、新たな物流システムの必要性を明らかにする。

（1）貨物自動車の分担率

3大都市圏の自動車輸送分担率を表-1に、東京都市圏の距離帯別の主な輸送手段構成を図-1に示す。各都市圏とも過去10年の間にトン数、件数ベースとも増加してきており、交通混雑の激しい東京都市圏においても昭和57年時点の件数ベースで85%を占めている。また、都市圏内々の流動のように輸送距離の短いものだけでなく、500kmを超える長距離帯においても貨物自動車の分担率が高いことが分かる。さらに、主な輸送手段としては鉄道、船舶等であってもその端末輸送は自動車がほとんどである。

（2）東京区部の走行台キロの推移

東京区部における都道以上の走行台キロの推移は表-2に示すように、昭和60年以降は上向いており、貨物車類が伸びてきている。

（3）東京区部の一般国道の混雑状況

道路交通の増大に道路整備が追いつかず、混雑状況は悪化している。図-2に示すように、東京区部における一般国道の混雑度が1以上の延長のシェアは増加しており、昭和63年には77%を占めるに至っている。また、ピーク時平均旅行速度は15km/h台であり、25km/h未満の延長比率は9割強に達している。

（4）自動車排出ガスの現況

NOxに着目してみると、乗用車の排出規制値が昭和41年当時と比べて現在では1/10～1/20に改善されてきているのに対し、トラックは1/2程度に留まっており、トラックの大半を占めるディーゼル車のNOx排出量は乗用車の15倍の3.4 l/km/台と極め

表-1 都市圏別自動車輸送分担率

	東京都市圏		中京都市圏		京阪神都市圏	
トン数	昭和47年	49.2% [201万t]	昭和51年	62.6% (96万t)	昭和50年	65.3% (233万t)
	昭和57年	59.2% (330万t)	昭和61年	76.4% (107万t)	昭和60年	71.9% (274万t)
件数	昭和47年	67.0% [158万件]	昭和51年	88.4% (46万件)	昭和50年	92.7% (117万件)
	昭和57年	84.5% (263万件)	昭和61年	96.1% (61万件)	昭和60年	94.1% (139万件)

各都市圏物流調査資料より、()内は全数、[]内は発生のみ

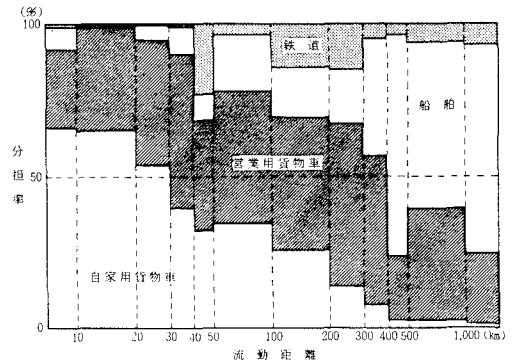


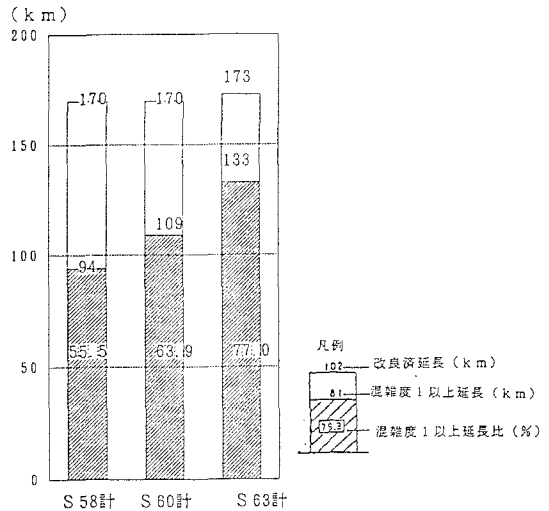
図-1 距離帯別主な輸送手段構成（トンベース）⁵⁾

表-2 東京区部の都道以上の走行台キロの推移

(百万台キロ/12時間)

	昭和46年	49年	52年	55年	58年	60年	63年
乗用車	1.3	1.3	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4
貨物車	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6

資料：道路交通センサス



(幅員5.5m以上、改良済)

図-2 東京区部一般国道の混雑状況

で大きい。¹⁾ しかも、このディーゼル車は図-3に示すように増加傾向にある。このような状況の中で東京区部における全排出量の67%を自動車が出しているとの報告がある。²⁾

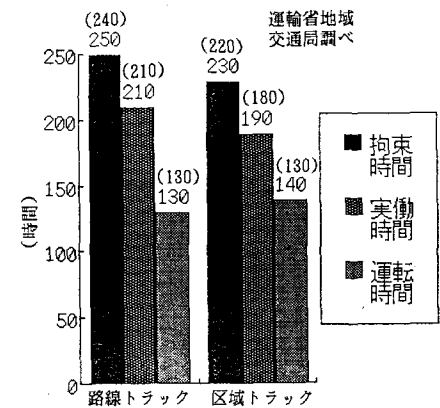
(5) エネルギー消費量

我国のエネルギー消費は、産業活動の順調な推移に対応して昭和57年度以降増加傾向にある。

全体に占める運輸部門の割合は、昭和63年度で22%であり、その内訳は図-4に示すように乗用車、トラック等の消費割合が圧倒的に高く、運輸部門全体の86%を占め、かつ伸び率も高い。また、図-5に示すように輸送量の分担率に比べてエネルギー消費量の分担率が高い。特に、自家用トラックが顕著である。

(6) トラック運転手

経済全般にわたる好況の影響で、労働者を中心とした労働時間短縮キャンペーンにもかかわらず各産業の労働時間は増加の勢いをみせている。これは、所定内労働時間は減少しているが所定外労働時間が増加しているためとの見方が一般的である。労働省統計資料によれば、全産業平均の月間実労働時間は昭和61年で176.8時間、63年で178.1時間である。これに対して、労働時間短縮不適応型産業と称される運輸業界、とりわけトラック運転手の労働時間は、運転手不足から図-6に示すように200時間を超えている。また、トラック運転手の平均年齢は図-7の通り年々高くなってきており、高齢化が顕著である。



(注) ()内は、前年度の結果を示す。
(昭和63年度)
図-6 6大都市の1人1月当りの運転手勤務内容

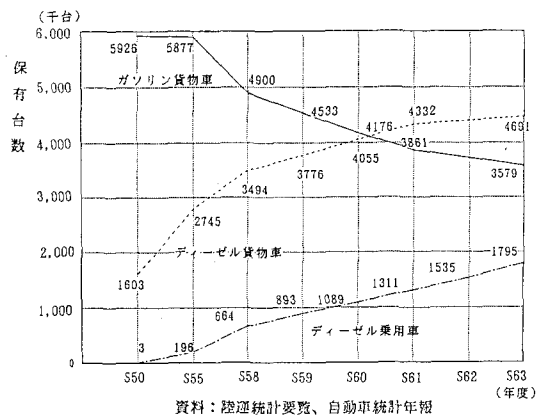
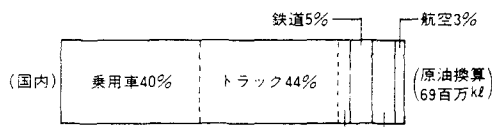


図-3 ディーゼル車の増加傾向 (全国)



(注) 民鉄の消費量は昭和62年度実績。 (昭和63年度)

図-4 輸送機関別エネルギー消費割合 ⁴⁾

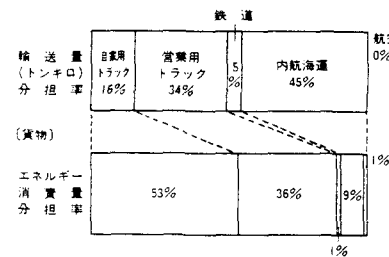
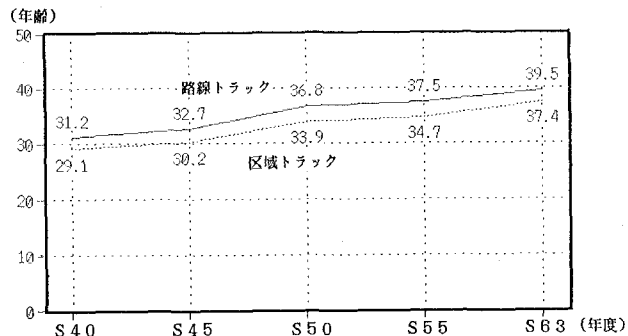


図-5 主要輸送機関の貨物輸送量とエネルギー消費量の構成 (昭和63年度) ⁴⁾



出典：運輸省「自動車運送事業用自動車運転者実態報告書」
図-7 トラック運転手の平均年齢の推移

(7) トラックターミナル

トラック輸送の伸びと共に、輸送の合理化を図り流通コストを削減するための方策の一つとして物流拠点の集約化が進められてきた。しかし、都市化の進展、取扱量の増加に伴い既存施設の拡張あるいは新たなターミナルの建設が必要となってきたが、用地の不足、地価の高騰からその立地は厳しい状況にある。

4. 東京区部の貨物車流動特性

東京都市圏物資流動調査（昭和57年）によれば、全物流量（トンベース）の6割を貨物自動車が分担しており、都市圏内々の流動だけでみればその9割近くは貨物自動車の分担となっている。このような貨物車の流動特性を中心に整理する。

(1) 貨物の発生集中量の変化

東京区部の貨物の全発生集中量は、表－3に示すように重量ベースでは減少しているが、件数ベースでは大幅に増大しており、荷動き1件当りの重量が10年間で約半分になっている。

次に、東京区部の貨物自動車扱い分のゾーン別面積当り発生集中量を57年データ、トンベースでみると、図－8に示すように品川区が突出している。特に、発生量が多く、その半数近くは砂利である。また、江東区、大田区も発生集中量とも比較的多いことが分かる。一方、杉並、世田谷、練馬区等の住宅系土地利用のゾーンでは、面積当り発生集中量は少ない。

(2) 積載重量ランク別交通量

東京区部の貨物車1台当り積載重量のランク別構成比をみると、内々、内外、外内の各方向とも500kg未満のランク（全体の44%）と8トン以上のランク（全体の38%）に両極化している。

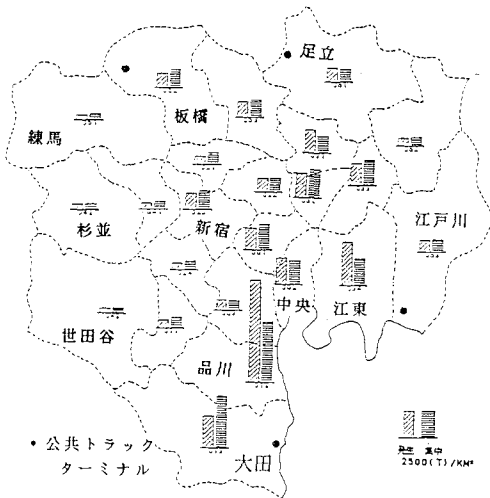
(3) 貨物車の流動方向別交通量

東京区部の流動方向別貨物車交通量は表－4に示すように、東京区部内々の交通が約8割を占めている。また、主要な動線は図－9に示すように臨海部の隣接ゾーンペアの交通量が多い。これらのペアの車種構成をみると、小型車が75%以上を占めている。ただし、品川－大田区間は、トンベースで7割強を砂利が占めていることもあり、小型車と大型車が半々の比率である。

表－3 東京区部の物流の変化

	47年	57年	57年／47年
発生量（千トン）	5 3 1	4 2 7	0. 8 0 4
集中量（千トン）	7 7 4	6 2 0	0. 8 0 1
発生件数（千件）	7 9 0	1 0 8 5	1. 3 7 3
荷動き1件当たり重量（千トン）	0. 6 7	0. 3 9	0. 5 8 2

資料：東京都市圏物資流動調査（昭和47年、57年）

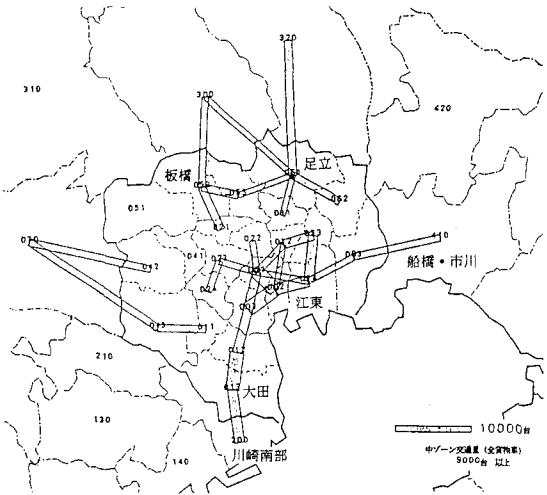


図－8 面積当り発生集中量（貨物自動車扱、57年）

表－4 東京区部の流動方向別貨物車交通量

	内々	内外	外内	計
交通量	1659	250	246	2155
構成比(%)	77.0	11.6	11.4	100.0

資料：東京都市圏物資流動調査（昭和57年）



図－9 東京区部関連の貨物車主要動線

(4) 車種別積載品目構成

東京区部の貨物車による積載品目構成を積載トリップベースでみると、表-5に示すように食料品、出版印刷物、衣服・身廻品、化学薬品、紙・パルプ等の軽雑工業品を積載しているトリップが多く、車種は小型貨物車が主体となっている。

(5) 運行目的別交通量

運行目的別に実車トリップ数をみると、「販売・配達・納品」(77万トリップ)、「仕入れ・購入・集荷」(10万トリップ)と物の輸送のみのために運行している貨物車交通が、東京区部内々の貨物車実車交通量の8割強を占めている。

(6) トリップ長分布

東京区部内々を対象に、荷物の積み込みから卸しまでの時間でみたトリップ長分布を図-10に示す。最頻値は30～45分のランクであるが、60分以上も比較的多い。なお、トリップ数の多い軽雑工業品あるいは「販売・配達・納品」目的について個別にみた場合も同様の傾向がみられた。

(7) 物流拠点施設の立地状況

首都圏の物流拠点施設の立地状況は、空港・空港関連施設ターミナル、港湾施設、公共トラックターミナル、倉庫等の主要施設の多くが東京湾沿いに集中している。

5. 地下物流システムの持つべき機能

これまでの結果からは東京湾沿いが主要な物流動線であり、この路線だけでも地下物流システムの整備効果が期待できるであろうが、システムの位置づけとして発地も着地も多数あるmany to manyを基本に考え、都市内において地下鉄並のネットワークを想定する。その上で扱う品目を危険物、長大重厚物、生コン類を除き、かつ「販売・配達・納品」、「仕入れ・購入・集荷」目的の物で、そのトリップ時間が60分以上のものに限定して考えることとした。この条件に該当するトリップ数は、表-6に示すように内外、外内を含めた東京区部全体の3割程度と算定された。

自動車輸送を取り巻く問題点への対応から、システムの具備すべき条件を整理すると以下の項目が考えられる。

①目的地への速達性に優れている

表-5 東京区部内々の積載品目別交通量(千台)

上位10位品目	交通量	上位10位品目	交通量
食料品	184	電気機器	48
出版・印刷物	80	金属製品	47
化学薬品	71	畜産品	43
穀物	69	計	705
衣服・身廻品等	63	全実車交通量	(65.7)
紙・パルプ	51	に対する割合	
文具・楽器等	49	全実車交通量	1073

資料：東京都市圏物資流動調査(昭和57年)

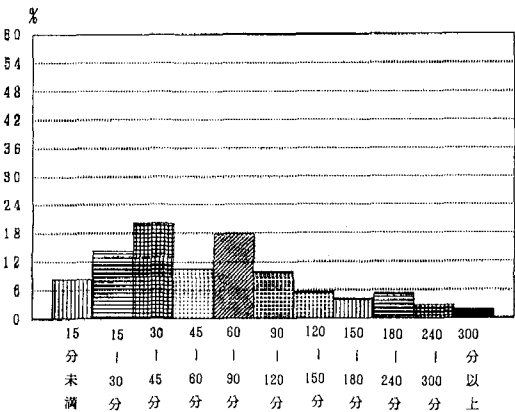


図-10 東京区部貨物車交通のトリップ長分布

表-6 地下物流システム転換量

品目別重量(純流動ベース トン)	
農産品	31,612
砂利・残土	14,747
セメント	17,565
金属機械	68,968
軽雑工業品-1	92,584
軽雑工業品-2	546,902
廃棄物	1,365
不明	68,659
計	842,401
23区全体に対する割合	(44.8%)
23区全体の物流量	1,881,867

交通量(トリップ)	
農産品	57,075
砂利・残土	1,922
セメント	4,797
金属機械	74,063
軽雑工業品-1	109,360
軽雑工業品-2	212,625
廃棄物	693
不明	7,476
転換交通に対する空車交通	171,804
計	639,379
23区全体に対する割合	(29.7%)
23区全体の貨物車交通量	2,154,909

- ②十分な輸送力を有する
- ③都市内物流需要に対しては、端末デポを至近距離（2km間隔程度）に配置
- ④端末集配サービスを持ち、ジャストインタイム輸送への対応が可能
- ⑤運行コスト面で経済性に優れている
- ⑥荷物の仕分け、積・卸し等が自動化されている
- ⑦デポ施設等の地下立地が可能

6. 地下物流システムのイメージ

システムのイメージを都市内システムに限定して述べる。

都市内システムの一例として、地下鉄並の路線を持つネットワークで、東京23区内総延長 300km程度の規模のものを考える。各路線毎のシャトル運行を基本とするが、分岐も可能な軌道方式（リニアモータ駆動）とする。また、一部の路線は、郊外的高速道路1. C付近あるいは港湾等まで延伸させる。

積荷はコンテナに収納して台車に載せて輸送するものとし、コンテナの大きさは小型トラックの荷台程度、輸送路のトンネル断面は複線で直径5m程度とする。

デポ（集配等のための施設）は、地下鉄駅並の配置とし、道路地下、需要の多い施設等を利用して整備する。デポの種類は、道路輸送とのインターフェイスの集配端末、路線間の積み替え駅としての乗り換え端末、都市間物流システムとの接続機能を持つ積み替え端末の3種類を考えている。

地下物流システムの輸送能力の検討に際し、前節で述べた転換可能物流の貨物車交通（全体の約30%）の流動パターンを、主要都道以上のネットワーク（総延長約 320km）に配分して求めた結果を図-11に示す。システム輸送能力は、20両連結・30秒ヘッドの運行で概ね16,000台/12時間・区間の貨物車交通量を代替することとなる。輸送能力が不足する区間は13箇所程度であり、この内、輸送能力が2割以上

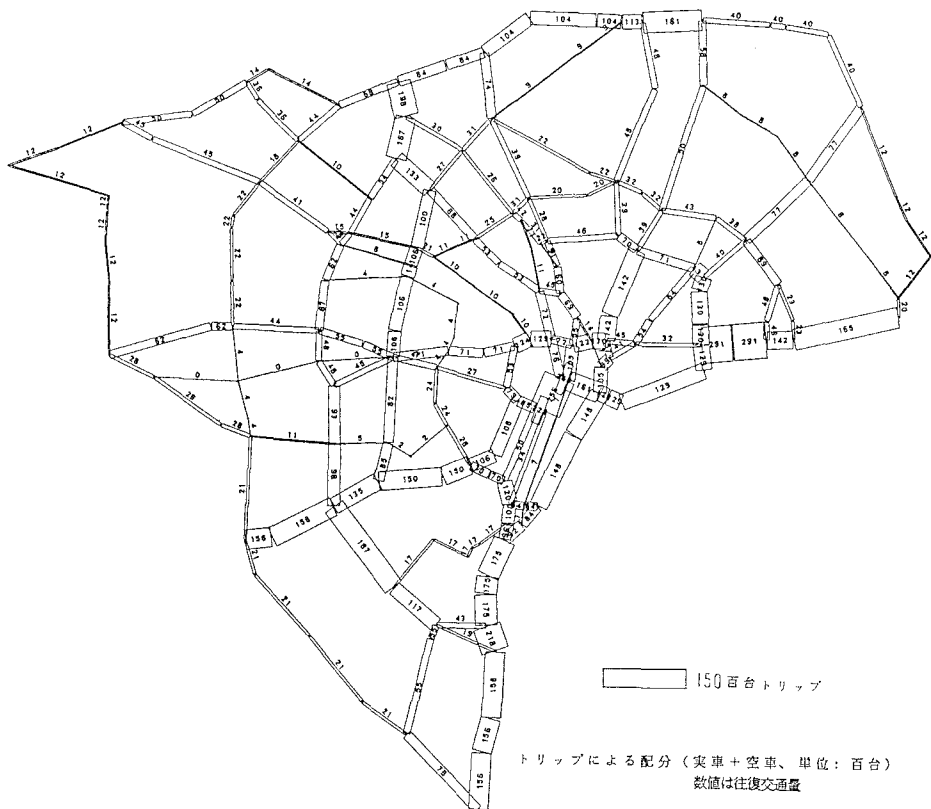


図-11 地下物流システム転換交通量配分結果（東京区部、距離最短）

不足する区間は5箇所のみである。これらの超過分はネットワーク上の他のルートに迂回させることで対応可能と考えられる。

なお、ここでは仮に主要都道以上の約320kmのネットワークを考えたが、貨物車交通の約30%を代替するには、このネットワークは少し過大なようであり、今後詳細な検討が必要である。

戸口から戸口への輸送ニーズに対応するため、電気自動車による端末集配サービスを行うとともに、荷物の仕分け、積み込み・取卸しの他、コンテナ化、一時的な保管等も自動化することとしている。端末デポの断面と自動積み卸しのイメージを図-12に示す。

システムの整備方策としては、一部の路線・施設が完成した時点で役立つことを考慮し、港湾・空港・トラックターミナル等の主要な物流ターミナル間等の路線から段階的に整備することを想定している。

7. 地下物流システムの整備効果

この大規模プロジェクトの整備効果について検討した結果を以下に述べる。

(1) 直接効果

東京都市圏物流調査B票データの東京区部関連のトリップを対象に算定した転換率(表-6、交通量ベースの値)と63年度交通センサスデータによる東京区部の車種別走行台キロ(表-2)から求めた貨物車の削減台キロをベースに、①一般道路の旅行速度上昇効果、②環境面の緩和効果、③トラック運転手の削減効果、④省エネルギー効果、⑤走行便益、⑥時間便益等の直接効果の試算結果を表-7に示す。

ほとんどの路線で限界状態に近い交通状況にある東京区部にしては、貨物車の削減割合に比べて速度の上昇効果が低い感がある。これは、全国の市街地を対象とした平均的な算定式³⁾を採用したためと考えられ、今後、さらに検討する必要がある。

従って、他の効果についても過小評価となっている可能性がある。

(2) 間接効果

間接効果としては、以下の項目が考えられる。

- ①物流活動全般の合理化
- ②物価の低廉化
- ③各種産業活動への生産誘発効果

④物流ターミナル用地の有効利用、郊外立地の促進

⑤定時性の向上

8. 今後の課題

これまでに、比較のマクロな整備効果の検討までを行ってきたが、今後は、システムのハード面について各種方式の検討・開発と適応性評価を行うとともに、需要量の推定、輸送能力、端末デポの規模、システム運営方式、整備効果と経営採算性等について詳細に検討する必要がある。

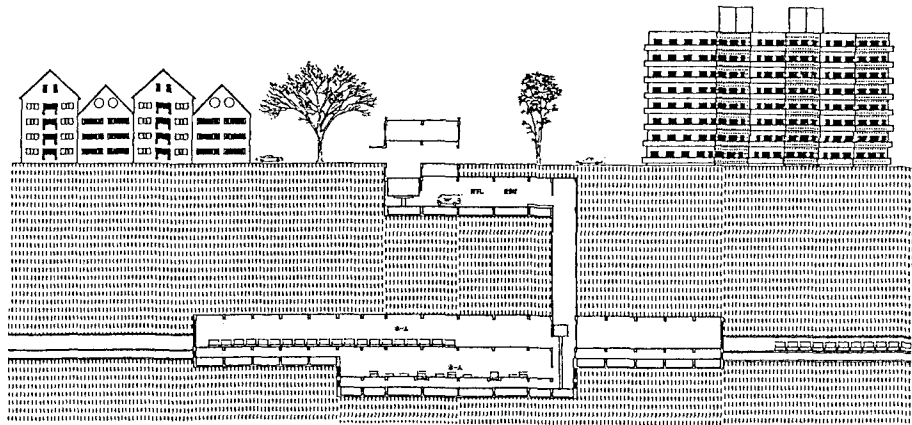
謝辞

本研究は成果は、「道路地下空間利用研究委員会・地下物流システム検討部会：(財)国土開発技術研究センター」において検討されたものであり、貴重な助言、指導、協力を賜った委員各位に謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) (社)日本道路協会：道路トンネル技術基準(換気編)・同解説、丸善、1985
- 2) 環境庁：大都市地域における窒素酸化物対策の中期展望
- 3) 建設省：道路整備による効果の推計に関する調査研究報告書、1988.3
- 4) (社)日本自動車会議所：数字でみる自動車、1990
- 5) 東京都市圏交通計画協議会：東京都市圏総合都市交通体系調査報告書-物資流動調査現況編、1984.3
- 6) 運輸省：陸運統計要覧、(社)日本自動車会議所、昭和63年版他
- 7) (社)日本自動車工業会：自動車統計年報、第16集、1988 他
- 8) 建設省：貨物自動車の輸送特性、土木研究所資料第2772号、1988.12
- 9) 日本物流流通協会：21世紀に向けてこれからの物流のあり方、1989.4

端末デポ（路線間の乗換え箇所）の断面イメージ図



プラットホーム上での自動積み卸しのイメージ

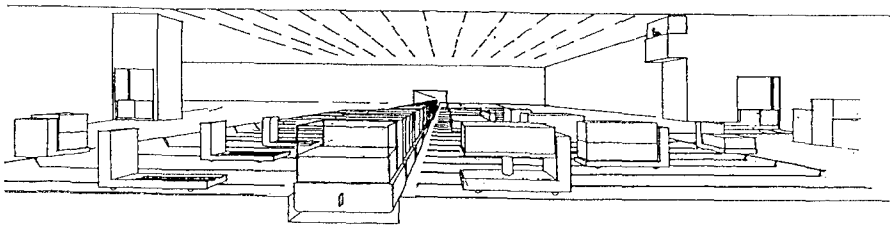


図-12 地下物流システムのイメージ（デポ）

表-7 直接効果の算定結果

渋滞（旅行速度の上昇効果）	1.14倍の速度上昇となる。（一日の平均速度を15km/hとすると17km/hに上昇する。）
環境（NO _x 排出量）	12時間のNO _x 排出量は76.1％に減少する。
運転者数	76千人(27％)のトラック運転者数が削減される。
エネルギー	道路交通による燃料消費量（ガソリン換算）は1,406kl/12時間の削減が期待できる。また地下物流システムの消費エネルギーは865kl/12時間と推定されるため、541kl/12時間の燃料消費量の節約となり、導入前と比べて燃料消費量は90.5％に減少する。
走行便益	旅行速度の上昇効果が乗用車交通にも及ぶため、全車種で走行経費（人件費等）の節約量を求めると4億3,000万円と推計される。（但し、非転換貨物車交通の受ける便益である。）
時間便益	走行時間短縮量と車種別の時間価値とから時間便益求めると5億4,000万円と推計される。
トータルの便益	9億7,000/12時間、2,910億円/年となる。