

都市内新物流システムのデポ施設計画に関する研究

Planning Depots of New Urban Freight Transport Systems

大石 龍太郎* 谷口 栄一** 今西 芳一***

By Ryutaro Ooishi, Eiichi Taniguchi, Yoshikazu Imanishi

1. はじめに

都市内新物流システムは、自動車交通問題の抜本的解消に大きな役割を果たすことが期待されている¹⁾。この役割を果たすには、デュアルモードトラック(DMT)が地上道路から地下の新物流システムへの出入りするための連結部であるデポ内での円滑な交通処理が重要な要素である。このことは、デポ出入り口付近での円滑な交通処理とともに、新物流システムの整備により新たな交通問題を引き起こすことなく、円滑な貨物自動車からの転換が図られるための重要事項である。そのため本研究では、円滑なデポ内交通処理システムを構築するため、デポの基本型を設定した上で、デポ内の交通処理モデルを提案し、その検討結果を報告するものである。

2. デポの基本型

デポでのDMTの移動は、地上から地下1階までは斜路を走行、地下1階から地下2階の物流システム本線までは、エレベータによる搬送とする。以下ではデポの基本型として、エレベータは上り、下り各1基、分合流のための引込線各1本の場合を主に想定して検討する。デポのイメージは図-1, 2, 3ようになる。

3. デポ内におけるDMTの交通処理システム

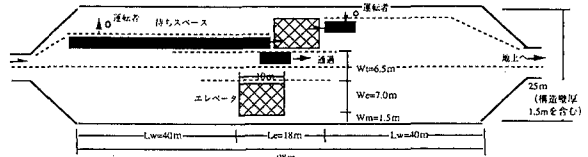
キーワード：物資流動、ターミナル計画、交通管理

* 正会員 工修 建設省松江国道工事事務所長
(〒690 松江市西津田2-6-28)

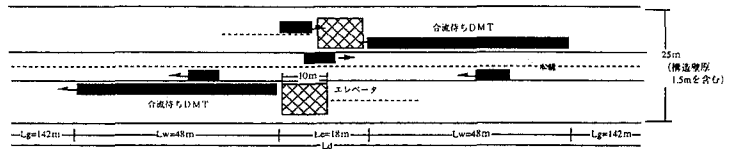
** 正会員 工博 京都大学大学院助教授 工学研究科
土木工学専攻

(〒606-01 京都市左京区吉田本町)

*** 正会員 工修 (株) 公共計画研究所長
(〒150 東京都渋谷区渋谷1-1-11)



(1) 地下1階



(2) 地下2階(本線階)

図-1 デポの基本型

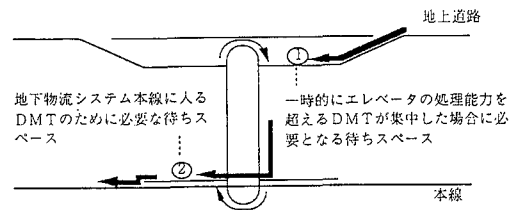


図-2 地上道路から本線への移動

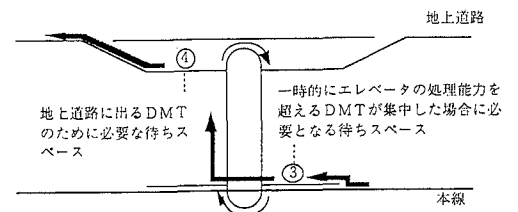


図-3 本線から地上道路への移動

(1) 前提条件

本研究では、デポ内でDMTを円滑に処理するために、DMTの交通の流れの変化点である新物流システム本線へ通じるエレベータ前後の待ち行列に着目して検討を行う。デポでは、図-2, 3に示すようなDMTの交通の流れとなり、エレベーター前後に4箇所の待ちスペースが必要となる。

また、検討に際しては、技術開発の可能性、地下スペースの確保等を勘案し、次の条件を仮定した。
 (a)エレベータの運行間隔は10秒とする(毎分6台)。
 (b)地下1階レベル、本線レベルともに、エレベータ1基あたりDMT6台分の待ちスペースを仮定する。
 (c)本線上のDMTの最小車頭間隔は3秒とする。

(2) 地上道路からデポへの流入に関する交通処理
 デポへのDMTの到着はポアソン分布に従うとすると、一時的にエレベータの処理能力を上回るDMTが集中し、長い待ち行列が発生する可能性がある。エレベータ前の待ちスペースは一定台数分しかないため、待ちスペースが不足し、DMTはデポに入れず利用を断念する場合がでてくる。そこで、地下1階レベルのエレベーターの待ち時間が15秒以下の目標サービス水準を設定し、その水準でエレベータが設置される場合について、地上道路からデポに入れないと予測されるDMT台数を算定することとする。

一般に、エレベータの運行間隔をT分とし、この間に地上道路からn台のDMTがデポに到着する確率を $P_n(T)$ とし、 $P_n(T)$ はポアソン分布に従うとすれば、次式で与えられる²⁾。

$$P_n(T) = e^{-\lambda T} \cdot \frac{(\lambda T)^n}{n!} \quad (1)$$

一方、エレベータを待っているDMTはT分間に1台ずつエレベータに乗ることができるため、次式のように、T分間に待ち台数がn台変化する確率 Q_n は、T分間にn+1台のDMTが到着する確率に等しい。

$$Q_n = P_{n+1} \quad (2)$$

また時刻tにおける待ち台数がn台である確率 $R_n(t)$ は、T分前の待ち台数がn台であった確率 $R_n(t-T)$ とT分間に待ち台数がn台変化する確率 Q_n との関係で次のように表せる。

$$R_n(t) = \sum_{j=-\infty}^{n+1} Q_{n+1-j} \cdot R_{n+1-j}(t-T) \quad (3)$$

数値計算の結果、任意時刻tにおける待ち台数 $R_n(t)$ はtを無限大としたときの収束値に等しいと考えられ、待ちスペースをN台とすると、あるT分間にデポに入れないDMTがn台発生する確率 S_n は、次式となる。

$$S_n = \sum_{i=0}^N Q_{n+i} \cdot R_{N-i} \quad (4)$$

ピーク時間帯(p分)全体では、エレベータ1基あたりのデポに入れないDMTの台数は、次式となる。

$$D(p) = \frac{p}{T} \cdot \sum_n n \cdot S_n \quad (5)$$

前述の仮定条件より、エレベータ1基あたりの待ちスペースをN=6台/基、エレベータの運行間隔をT=10秒とすれば、表-1のようになり、エレベーターが1基の場合のデポに入れないと予測されるDMT台数は1.6台/時、割合としては0.6%となった。また、3基の場合では30台/時、割合としては3.1%となった。

表-1 デポに入れないと予測されるDMTの割合
 (平均待ち時間を15秒以下とした場合)

エレベータ数(基)	1	2	3
エレベータの実能力(台/分)	6	12	18
目標サービス水準を維持する場合に 処理可能なDMT台数(台/分)	4.5	10.3	16.2
目標サービス水準を維持する場合に 処理可能なDMT台数(台/時)	270	618	972
デポに入れないと予想される DMT(台/時)	1.6	13	30.3
デポに入れないと予想される DMTの割合(%)	0.6	2.1	3.1

(3) デポから本線への流入に関する交通処理

地上道路からデポに入ったDMTは、地下1階からエレベータで本線レベルまで移動した後、本線の流れているDMTの車間が空くのを待って本線に流入することになる。ピーク時には地上道路からの集中量と同時に本線の交通量も増加しており、エレベータがフル稼働した場合には本線レベルの待ちスペースの不足が予測される。そこで、本線レベルの待ちスペースの不足に関する予測と適正なサービス水準を確保するための方策を検討した。

ここで、本線交通量(台/分)はデポ通過交通量、すなわち上流リンクの交通量から当該デポの流出台数を引いた値とし、個々のDMTの到着はポアソン分布に従うと仮定する。ただし、本線を走行するDMTの車頭間隔は図-4に示すように、最小車頭間隔の倍数となるよう調整されているのものとす。

まず、T分間にエレベーターでDMTが0台運ばれてくる確率 T_0 、1台運ばれてくる確率 T_1 は、

$$\left. \begin{aligned} T_0 &= R_0 \cdot P_0 \\ T_1 &= 1 - T_0 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

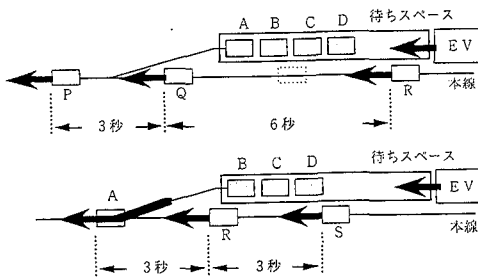


図-4 車頭間隔が調整された本線へのDMTの流入

と表わされ、1基のエレベーターで1分間に*i*台のDMTが運ばれてくる確率 U_i は、次式で表せる。

$$U_i = \frac{1}{T} C_i \cdot T_i^i \cdot T_0^{1/T-i} \quad (7)$$

1分間に*k*台のDMTが本線を通過する確率を V_k とし、本線通過交通量として平均到着率 λ を考えると、

$$V_k = e^{-\lambda} \cdot (\lambda^k / k!) \quad (8)$$

であり³⁾、本線1車線あたりのエレベータ数を*m*とすると、1分間に*j*/*m*台のDMTが本線に流入できる確率 $W_{j/m}$ は次式で表せる。

$$W_{j/m} = V_{(20-j)} \quad (9)$$

1分後に待ち台数が*n*台変化する確率 X_n は、1分間に1基のエレベーターで*i*台のDMTが運ばれてくる確率 U_i と、 $W_{j/m}$ とにより、次式で表せる。

$$X_n = \sum_{i+j=m} U_i \cdot W_{j/m} \quad (10)$$

本線レベルのエレベーター1基あたりの待ちスペースを*N*台/基とすると、エレベーターから降りられないDMTが1分間に*n*台発生する確率 Z_n は、 X_n と任意の時刻における待ち台数が*n*台である確率 Y_n (Y_n は式(3)において*R*を*Y*に置き換えたもの)をもとに、次式により求められる。

$$Z_n = \sum_{i=0}^N X_{n+i} \cdot Y_{N-i} \quad (11)$$

ピーク時間帯 (60分) でのエレベーターから降りられないDMT台数 D_n は、次式により求められる。

$$D_n = 60 \times \sum_n n \cdot Z_n \quad (12)$$

デポから本線へ流入するDMTの流れを円滑に行える適正なサービス水準を確保するために、上記の諸

式を用いて、地上道路からのDMT集中量が増えた場合の本線交通量とデポ内交通処理のサービス水準との関係について検討した。このサービス水準としては、本線への流入待ちスペースがふさがっているためにデポに入れないDMTが1時間当たり発生する台数とし、本線交通量とデポ集中交通量 (流入量) の組合せをこのサービス水準により評価したものを図-5および表-2に示す。

単純に考えると、本線交通量とデポ流入量の和が本線交通容量である1,200台/時となる組み合わせが物理的に処理可能な上限交通量であると考えられる。しかし実際には、本線のギャップがある時には待ちDMTが無い場合が生じたり、待ちDMTがある時に本線のギャップがなかなか現れないということが生じるため、一般的に上限交通量の状態は生じない。

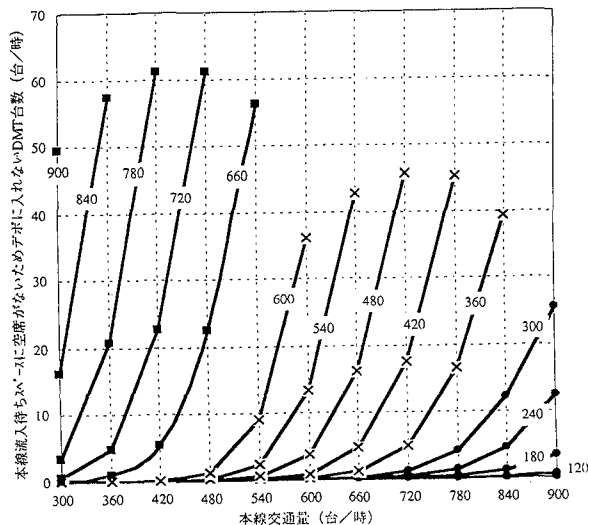


図-5 本線交通量とデポ集中交通量の組み合わせによるサービス水準の変化

注1) グラフ線上の数字はデポ流入交通量を表す。
注2) 数字はすべて片方向交通量である。
注3) ■: 11台~19台設置 X: 21台~29台設置 ●: 31台~39台設置

表-2を見ると、本線交通量とデポ流入量の和が1,200台/時となる組み合わせの場合はデポに入れない交通量がかなり多くなる。各交通量水準で5%前後、多い場合には1時間に60台程度発生する。このような状況ではデポの運営に問題が生じるので、もう少し高いサービス水準で受け入れ可能な交通容量を設定する必要がある。つまり、①空きスペースがないためにデポに入れない交通量を1時間に10台以下に止めようとする、本線交通量とデポ流入量の和が1,10

表-2 本線交通量とデポ集中交通量の組み合わせによるサービス水準

エレベータ 台数 (台)	処理可能 交通量 (台/分)	デポ集中交通量 (台/分)	本線交通量 (台/時)															
			300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900					
1	4.5	1	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	4.5	2	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.5			
1	4.5	3	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	1.1	3.4	
1	4.5	4	240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.3	1.4	4.6	12.4
2	10.3	5	300	0	0	0	0	0	0	0	0.2	1.2	4.2	12.2	25.6			
2	10.3	6	360	0	0	0	0	0	0.2	1.2	5.0	16.6	39.4					
2	10.3	7	420	0	0	0	0	0.2	0.8	4.8	17.6	45.2						
2	10.3	8	480	0	0	0	0	0.6	3.8	16.2	45.6							
2	10.3	9	540	0	0	0	0.2	2.4	13.4	42.8								
2	10.3	10	600	0	0	1.2	9.0	36.2										
3	16.2	11	660	0.9	5.4	22.5	56.1											
3	16.2	12	720	0.6	4.8	22.8	61.2											
3	16.2	13	780	3.3	20.7	61.2												
3	16.2	14	840	16.2	57.3													
3	16.2	15	900	49.5														

注1) 集中交通量はデポへの集中 DMT 台数を示す。

注2) 表中の数字は空きスペースがないためにデポに入れない交通量を表す。

0台/時（容量の90%）程度となる組み合わせ（表-2の
実線の上側）で運用する。②デポに入れない交通がほと
んど発生しないようにするためには、本線交通量
とデポ流入量の和が900台/時（容量の75%）程度とな
る組み合わせ（表-2の破線の上側）で運用するのが望
ましい。

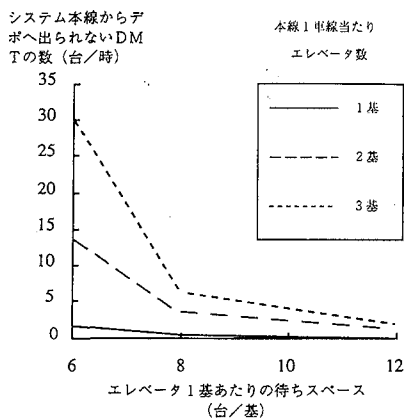


図-6 待ちスペースの増加に伴うシステム本線から
流出できないDMT台数

（4）本線からデポへの流出に関する交通処理

ここでは、地下1階レベルの待ちスペース不足が起
こらず、エレベータからDMTが自由に降りること
ができるという前提で、本線レベルの流出の待ちス
ペースの不足について検討する。ポアソン分布に従
ったDMTの到着を仮定して計算すると、(2)と同様
の計算により、1時間に数台から数十台のDMTがシ
ステム本線から出られないことになる。本線からデ
ポへ流出できないDMTにより本線の交通が妨げら
れると、新物流システムの高速度・信頼性等への影

響が大きい。そのため、本線からデポへ流出する
DMTの処理については、地上道路から流
入するDMTの処理に比べて高いサービ
ス水準が求められる。そこで、本線レベルの
エレベータの待ちスペース台数を増やすこ
とにより、デポへ流出できないDMT台数
の減少を図ることを検討した。本線レベル
の待ちスペース台数 $N=6, 8, 10, 12$ とした場
合の算定結果を図-6に示す。待ちスペース
を6台から8台に増やすことにより、デポへ
流出できないDMT台数は急激に減少し、
さらに待ちスペースを12台に増せば、1台程

度へ減少していくことがわかった。なお、デポから
地上道路への流出に関しては、交通容量に余裕のあ
る道路にデポの出口を設けたり、合流車線を長く確
保する等の方策をとることが望ましい。

4. おわりに

本研究の結果、次のことが言えるものとする。

- ①目標サービス水準を維持できるエレベータの設置
がされた場合は、地上道路からデポに入れないと
予測されるDMTの割合は無視できる程度になる。
- ②デポ内の交通を円滑に処理するためには、本線交
通量とデポから本線への流入交通量の和が、本線
可能交通容量1,200台/時の75～90%以下で運用する
ことが望ましい。
- ③本線からデポへ流出するDMTの処理は、地上道
路から流入するDMTの処理に比べて高いサービ
ス水準が求められる。そのため、エレベーター前
の待ちスペースを仮定条件の1.5～2倍程度にする
と本線交通への大きな影響は避けられると考える。
今後は、地上道路から地下1階レベルへ、地下1階
レベルから本線レベルへ、本線レベルから本線への
流入という連続的なモデルの構築が課題である。

参 考 文 献

- 1) 山田晴利、河野辰男、大下武志：新物流システム
に関する研究、第21回日本道路会議、1995年
- 2), 3) 松本嘉司、伯野元彦：土木解析法2、技報堂出
版、1975年