

リニアモータ郵便輸送システム構築のための シミュレーション分析

和田 正晴*, 松沢 一砂*, 惣名 英利*, 中野 一夫**

1. はじめに

物流システムを評価する上でよく使われるOR手法の1つは、離散系シミュレーション（以後シミュレーションと呼ぶ）であろう。最近では、新しいシミュレーション言語も普及し、その利用範囲も広範にわたっている。シミュレーションを行なうことにより、物流ネットワークの負荷評価、搬送設備の負荷評価およびスケジューリングルールの評価等の動的分析が可能になる。

本稿では、都市部における道路の渋滞による輸送効率の低下に対処するとともに年々増加する郵便物数に対応するため、西暦2000年を想定し昭和63年度から研究を行っているリニアモータ輸送システム〔1〕を対象とした電気機械・土木建築システム等の検討のためにシミュレーション手法を使って行なった適切な輸送規模、経路の評価事例（東京L-NET）を紹介する。

2. 東京L-NETの概要

郵便物は郵便番号の区分にしたがい全国各地に配達される。各地域間の輸送は、地域区分局（中央郵便局等当該地域の中心となる郵便局）間において郵便番号の上2桁によって区分を行ない輸送される。また、地域内の輸送は、3桁または5桁で区分されて行なわれる。東京の芝郵便局（105地域の受持ち局）を例にとり郵便物の流れを見ると、ポスト等から麻布郵便局等都区内の他の郵便局に集められた郵便物は、その郵便局で都区内宛（郵便番号3桁で区分）およびその他の地域宛郵便物（原則として2桁で区分、ただし神奈川、千葉、埼玉向けは3桁で区分）を区分し、東京中央郵便局に輸送される。ここで芝局（都区内）宛郵便物は、地方あるいは他の都区内の局からの到着郵便物と合わせて芝局宛に発送され、

わた まさはる, まつざわ かずさ, そうな ひでと
し, *郵政省郵政研究所 〒106 港区麻布台1-6-19
なかの かずお **構造計画研究所

同局に到着した郵便物は、受け持ち地域の各家庭、事業所等に配達される。

東京L-NETはこの郵便物の輸送システムの中において都区内各局の発送、到着郵便物について特に物量の多い地域を環状にカバーし効率的に輸送しようというシステムであり、また環状ルートにのらない郵便局についてはルート上の最寄りの局にアクセスすることにより都心部へ乗り入れる自動車便数の削減を狙ったシステムである。

現在の段階では新東京郵便局、東京小包郵便局（以下、両局を併せて東京新局〔仮称〕と呼ぶ）、深川、日本橋、東京中央、神田、浅草、北部、下谷、本郷、豊島、新宿北、新宿、渋谷、品川、高輪、芝および南部局を環状に結ぶリニアモータ輸送システムを大深度地下に構築することを考え、各郵便局の地下にステーションを設け、地上の局と地下ステーションをエレベータで結ぶ構成を考えている。（図1）

また、大深度地下の利用を考えているので、システムは基本的に無人運転を前提に検討している。

物流の基本となるユニットロードは、①現行の郵便自動車による輸送システムとの整合を図るため、郵便自動車による輸送に適したパレット（キャスター付ロールボックスパレット：H176×W76×L126cm）の活用、②自動化を容易にするためのパレットとしてのマスターパレット（平パレット）の使用を考え、マスターパレット付ロールボックスパレットとした。

3. シミュレーションモデルの構築

3.1 シミュレーションの範囲

シミュレーションにさいしては、

- ① 第1段階として、ルート（ループor分岐付、双方向or一方等）、列車間隔、輸送量等システムの大枠を把握するため東京23区内の主要郵便局7局（東京新局、東京中央郵便局、南部局、品川局、新宿局、豊島局、北部局）のみを結び、次の4ルート案についての比較検討を行なった。（図2）

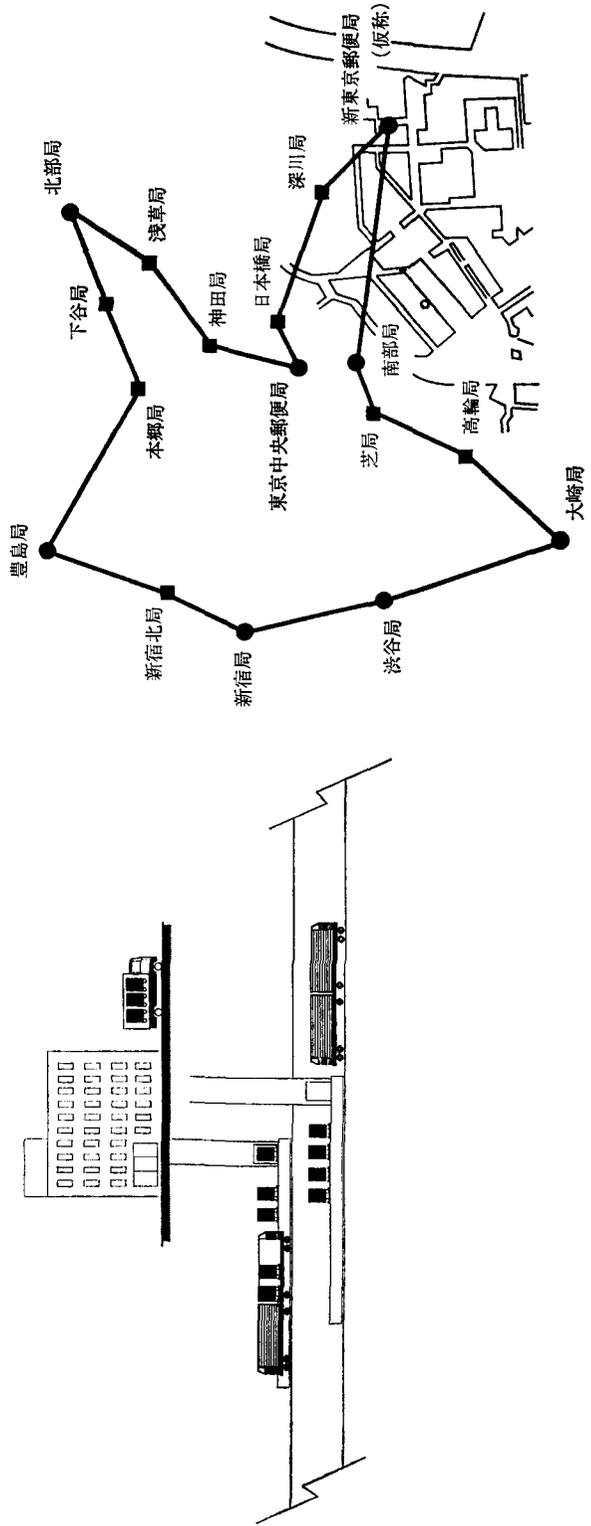
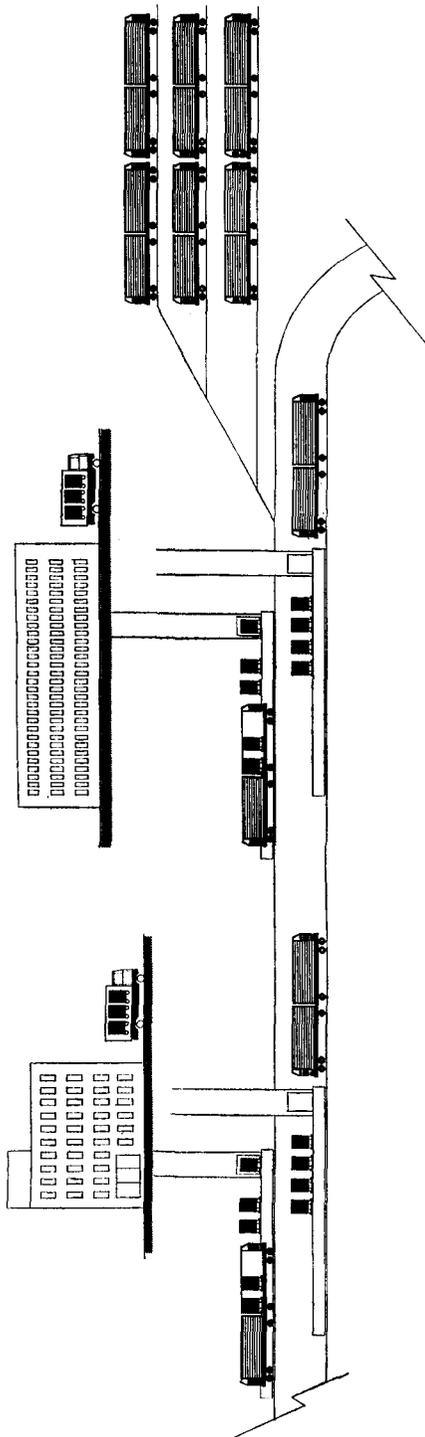


図 1 東京 L-NET 概念図

Aルート案=複線同一方向. ただし, 片方の線路のみ品川経由

Bルート案=複線同一方向.

Cルート案=複線双方向 (最短輸送距離を選択)

Dルート案=複線双方向 (最短輸送距離を選択). ただし, 南部-新宿間から分岐線を品川に延ばし品川専用便 (各局と品川局相互間のパレットを輸送) を設ける.

② 第2段階として, 第1段階において妥当性の最も高いとされたCルート案を基準とし, ステーション数等東京L-NETの具体的システムにより近いモデルとして東京の都心部にある郵便局のうち取扱物数の多い17局を結んだルートについてシミュレーションを行なった.

3.2 シミュレーションモデル

本システムでは, 離散型モデルを「もの中心型」と「事象中心型」の両機能を用いて構

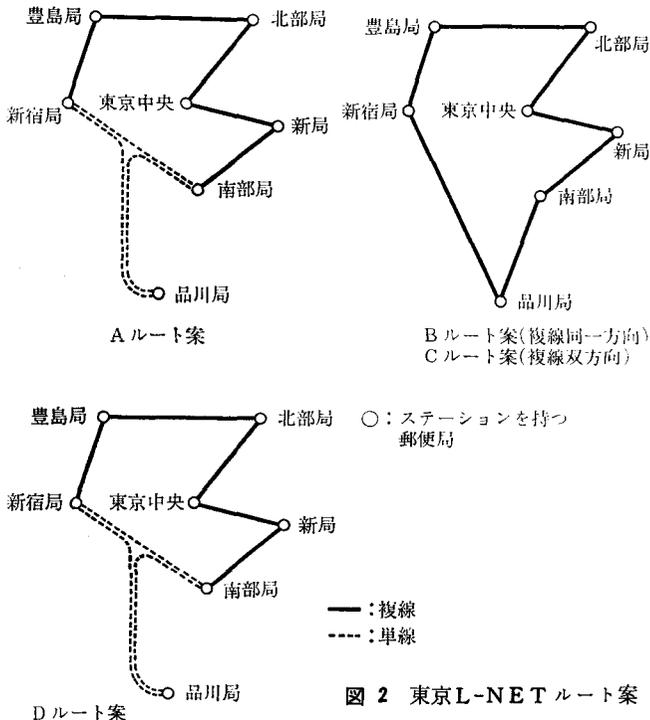


図2 東京L-NETルート案

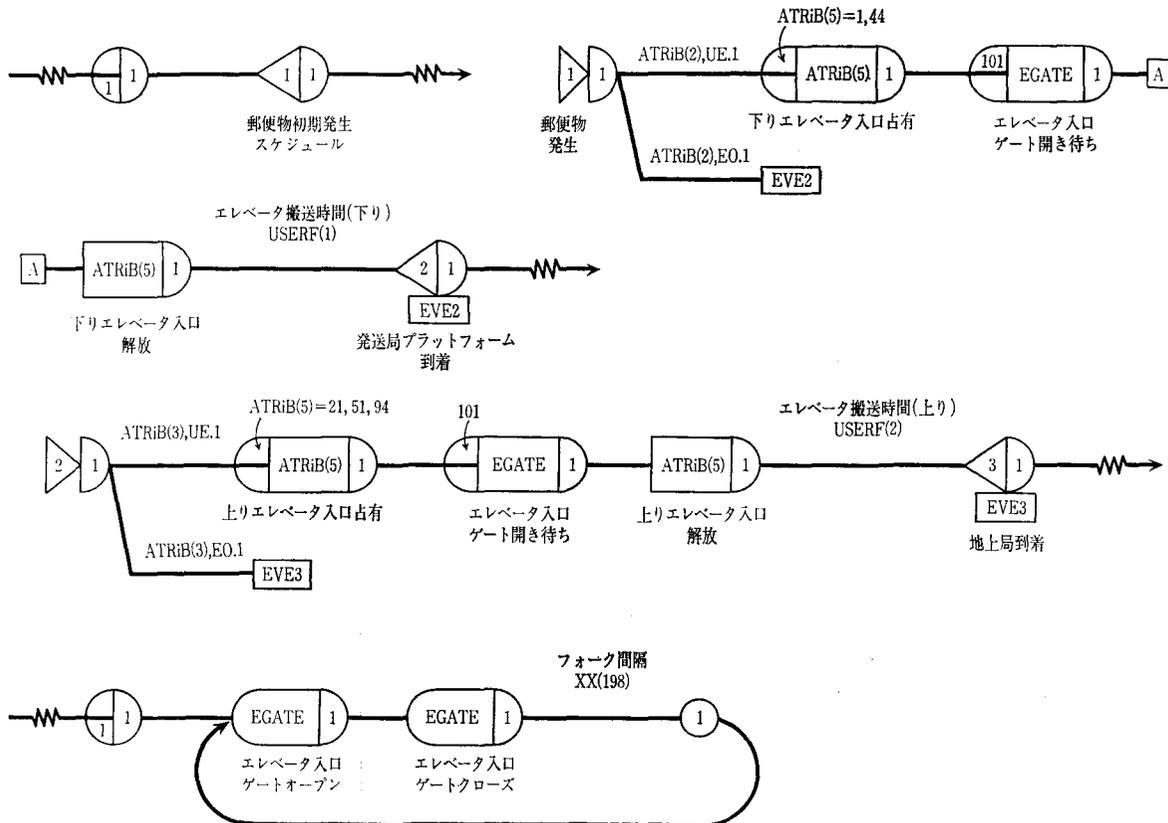


図3 パレットの流れのS-LAMネットワーク図

築することとしシミュレーション言語としては、この2つのタイプの機能を兼ね備えているSLAMII [2]を採用した。

本システムの中を動きまわる「もの」は、郵便物の入ったパレットである。パレットの流れは以下のようになり、SLAMIIのネットワーク図で示すと図3のようになる。

- ① パレットは、OD表より求められる発生時間にしたがって発生し、縦搬送機に載せられプラットホームに送られる。縦搬送機は一定間隔ごとにパレットを1個運ぶ。したがってモデル上ではゲートを設けその動きを表現した。

- ② プラットホームに到着したパレットは、列車搬送の待ち行列に入る。

また、列車の処理は「事象中心型」でモデル化した。列車が引き起こす事象と処理を以下に示す。

- ① 列車の初期投入事象
 - a. 1 周の距離から列車の台数を算出する。
 - b. 新局での調整時間を算出する。
 - c. 1 台目の列車の新局到着を時刻0にスケジュールする。
 - d. 列車台数分、次に到着するステーションと到着時刻を設定し、ステーションへの到着をスケジュールする。

- ② プラットホームへの列車の到着事象
 - a. 当該ステーション宛のパレットを降ろす。
 - b. 新局であれば時間調整を行なう。
 - c. 列車の積載能力の範囲でパレットを積み込む。
 - d. 次のステーションへの列車の到着をスケジュールする。

なお、出力として各プラットホームにおける発送、到着の処理時間、および、パレットの滞貨数を求めているが、システムの評価には検討時間内に発生したパレットが列車に積載完了されるまでの時間をデータとしてを用いた。

4. シミュレーション結果

4.1 第1段階のシミュレーション

前節で述べた4ルート案についてのシミュレーション結果を表1(1)に示す。なお、この結果はシミュレーション

表1(1) シミュレーション結果(抜粋)

シミュレーション開始後、最後に発生したパレットが列車に積載完了するまでの時間(単位:分)

		外回り							
発局/着局		東京中央	東京新局	南 部	品 川	新 宿	豊 島	北 部	
東京中央	A:	0.0	388.8	386.8	386.8	388.8	388.8	386.8	
	B:	0.0	339.6	337.6	337.6	339.6	339.6	337.6	
	C:	0.0	246.4	246.4	246.4	0.0	0.0	0.0	
	D:	0.0	349.6	348.2	245.6	0.0	0.0	0.0	
東京新局	A:	238.4	0.0	240.4	238.4	236.4	238.4	222.4	
	B:	238.4	0.0	240.4	232.4	236.4	238.4	222.4	
	C:	0.0	0.0	240.4	238.4	240.4	0.0	0.0	
	D:	0.0	0.0	240.2	241.4	240.2	0.0	0.0	
南 部	A:	239.8	245.8	0.0	245.8	245.8	235.8	245.8	
	B:	239.8	245.8	0.0	245.8	245.8	235.8	245.8	
	C:	0.0	0.0	0.0	245.8	245.8	237.8	0.0	
	D:	0.0	0.0	0.0	252.8	246.8	243.6	0.0	
		内回り							
発局/着局		東京中央	東京新局	南 部	品 川	新 宿	豊 島	北 部	
東京中央	A:	0.0	303.6	303.6	0.0	303.6	303.6	303.6	
	B:	0.0	337.6	337.6	337.6	339.6	337.6	337.6	
	C:	0.0	0.0	0.0	0.0	246.4	244.4	246.4	
	D:	0.0	0.0	0.0	0.0	245.6	244.2	245.6	
東京新局	A:	238.2	0.0	240.2	0.0	240.2	234.2	232.2	
	B:	238.4	0.0	240.4	238.4	240.4	234.4	230.4	
	C:	238.4	0.0	0.0	0.0	0.0	238.4	230.4	
	D:	238.2	0.0	0.0	0.0	0.0	237.6	231.6	
南 部	A:	243.6	245.6	0.0	0.0	243.6	238.2	243.6	
	B:	243.8	245.8	0.0	243.8	243.8	237.8	241.8	
	C:	240.2	264.2	0.0	0.0	0.0	0.0	264.2	
	D:	345.5	351.6	0.0	0.0	0.0	0.0	351.6	

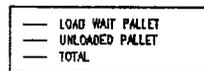
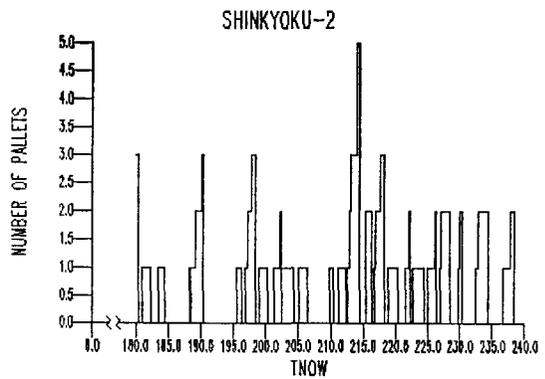
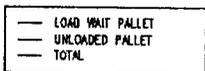
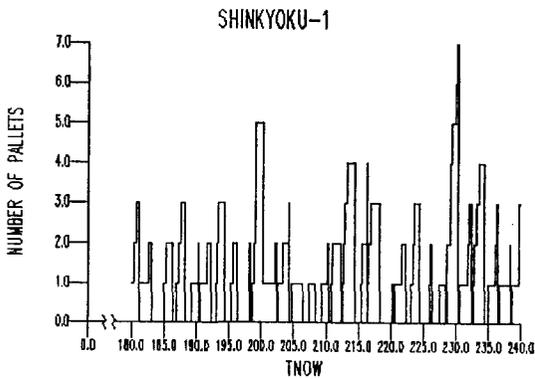
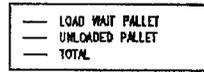
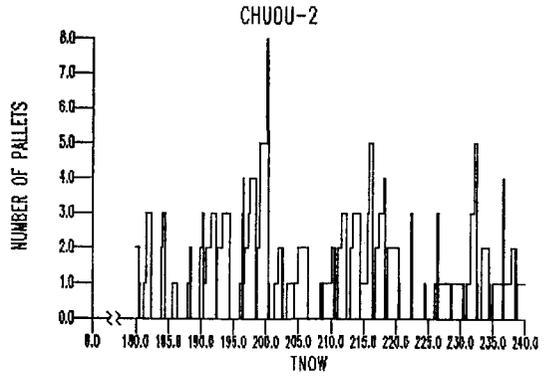
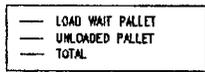
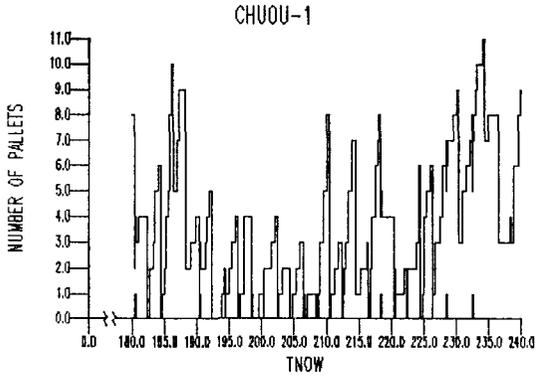
(注) A, Bについては、外回り、内回りとも同一方向(時計回り)、C, Dについては外回りは時計方向、内回りは反時計方向。

シミュレーション開始後3時間経過後4時間経過までの間に発生した物量の列車積載完了までの経過時間(分)を示している。またプラットホームにおける物量の変動状況は表1(2)に示すとおりとなっている。

このシミュレーション結果から、片方の車線を品川に立ち寄らせるAルート案およびDルート案では分岐のないBルート案およびCルート案に比較して、発生物量の多い東京中央局および南部局において物量発生後列車に積載されるまでに長時間経過していることがわかる($(388.8-240)/60=2.48$)。このことから、本件のようにシンプルな系統においては品川経由のように物量の少ない局への輸送を分岐線に対応することが適切でないことが推察できる。

また、Bルート案は同一方向に輸送するため、近接する局であっても最長ルートをとらざるを得ないこともあ

表1(2) 各ステーションのパレット滞留状況



(注) 各グラフの局名(ローマ字)の後の数字は1:外回り, 2:内回りを示す。

り処理に時間を要していると考えられ、効率的な輸送システムでないことが判明した。

一方、Cルート案(複線双方向分岐無)は、比較的スムーズに物量が処理されていることが理解でき東京 L-N E Tに適していると判断できる。そこで、Cルート案について列車等の条件(最高速度70km/h、表定速度30km/h程度)を基本に運行間隔を変化させてシミュレーションを行なったが、現在検討を進めている列車編成(輸送能力10パレット/列車)規模では表1(3)に示すとおり、運行間隔2分程度が必要なが判明した。

4.2 第2段階のシミュレーション

第1段階の結論から、Cルート案において東京 L-N E Tのステーション数を検討中のモデルに合わせ17局に増加し、表定速度30km/h、輸送能力10パレット/列車、

運行間隔2分の条件でシミュレーションを行なった結果は表2(1)のとおりであり、時計回りの方向の輸送で東京中央および日本橋において、かなり処理時間を要している(実質的にシステムとしてオーバフローしている)ことが判明した。

これは、取扱物量の多い東京新局宛郵便物がこの区間に集中するため、東京中央および日本橋においてパレットが列車に積載できずにホームに滞貨していることが原因と考えられる。そこで、東京中央-新局-南部間の物量の多いルートに流れる郵便物を逆回りに輸送することにより、平滑化を考慮したところ、表2(2)に示すとおり明らかに東京中央および日本橋における処理時間が改善された(この場合に延びる輸送距離は最大で13.3km、時間にして約27分に対し、東京中央、日本橋の両局にお

表1(3) シミュレーション結果(抜粋)

シミュレーション開始後、最後に発生したパレットが列車に積載完了するまでの時間(単位:分)

東京中央 外回り								
条件 / 着局	東京中央	東京新局	南 部	品 川	新 宿	豊 島	北 部	
運行間隔 3分								
時速30km/h:	0.0	396.8	396.8	396.8	0.0	0.0	0.0	
時速40km/h:	0.0	416.4	416.4	416.4	0.0	0.0	0.0	
運行間隔 2分								
時速30km/h:	0.0	246.4	246.4	246.6	0.0	0.0	0.0	
時速40km/h:	0.0	246.2	246.2	246.2	0.0	0.0	0.0	

(注) 速度は平均時速を示す。

ける各局宛の郵便物の処理時間は1ないし2時間前後の短縮、オーバフローの解消)。なお、このシミュレーションは、影響を明確に把握するために、現在検討中の物量*の約30%増の物量で行なっている。

以上から、Cルート案を基本とし物量の集中する区間においては、適宜、逆方向の経路による輸送を適用する等柔軟な運用により充分に機能するシステムが構築できることが判明した。

*注) 西暦2000年時点の1日における物量推定値が最大となる時間帯の物量の1.5倍

なお、今回のシミュレーションにおいては、ユニットロードの発生をランダムとしたが、実際の郵便物は処理過程において波動を生じ物量に山谷ができるので、最終案でユニットロードを1時間毎の集中的な発生とした条件でもシミュレーションしたところ、この場合についても物量が処理できるとともに、物量の多い局において急行便等の活用により滞貨時間の軽減が図れることが確認できた。

5. おわりに

本シミュレーションにより、東京L-NETにおける適当な輸送システム規模・形態が把握でき具体的なシステム案についての検討に入ることができた。また副次的な効果として郵便物の取扱によってはシステム内の物流の平滑化の可能性のあることが確認できた。

今後、具体的なシステム構成案にしたがって、列車管

理システム、縦搬送システム、物流管理システム等実際のシステムの動きを考慮したダイナミックな物流シミュレーション、ステーション内の電気機械システムの能力の妥当性を検証するためのシミュレーションを行なう予定である。

参 考 文 献

- [1] 「リニアモータ輸送システムの郵便事業への応用に関する研究調査報告書」
平成2年3月 郵政省郵政研究所
- [2] 森戸 晋, 相沢りえ子共著「SLAMIIによるシステム・シミュレーション入門」
昭和61年10月 構造計画研究所

表2(1) シミュレーションの結果

シミュレーション開始後、最後に発生したパレットが列車に積載完了するまでの時間(単位:分)

外回り	新局	南部	芝	高輪	品川	渋谷	新宿	新宿北	豊島	本郷	下谷	北部	浅草	神田	東京中央	日本橋	深川	新局
新局	0.0	230.8	232.8	222.8	238.8	218.8	234.8	224.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
南部	0.0	0.0	221.0	245.0	241.0	245.0	199.0	241.0	249.0	225.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
芝	0.0	0.0	0.0	219.4	245.4	235.4	245.4	245.4	241.4	203.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
高輪	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	234.4	0.0	203.0	0.0	240.4	193.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
品川	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	212.0	244.0	242.0	236.0	232.6	234.0	200.6	204.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
渋谷	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	242.2	222.2	244.2	0.0	202.8	230.2	0.0	240.2	244.2	0.0	0.0	0.0
新宿	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	239.2	241.2	215.8	201.8	243.2	0.0	231.2	227.2	245.2	215.8	0.0
新宿北	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	235.6	198.2	0.0	231.6	218.2	226.2	0.0	243.6	0.0
豊島	245.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	239.0	213.6	241.0	0.0	215.6	215.6	209.6	229.6	0.0
本郷	244.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	195.4	235.4	0.0	205.4	233.4	0.0	215.4	0.0
下谷	213.8	243.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	217.8	237.8	241.8	227.8	0.0
北部	246.6	226.6	238.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	224.6	0.0	232.6	0.0	212.6	0.0
浅草	245.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	247.2	237.2	0.0	243.2	0.0
神田	246.2	240.2	0.0	236.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	218.2	196.2	0.0	0.0
東京中央	309.4	307.4	307.4	299.4	309.4	305.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	297.4	297.4	0.0
日本橋	369.2	365.2	367.2	0.0	365.2	367.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
深川	267.6	265.6	0.0	263.6	241.6	267.6	237.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表2(2) シミュレーションの結果

シミュレーション開始後、最後に発生したパレットが列車に積載完了するまでの時間(単位:分)

外回り	新局	南部	芝	高輪	品川	渋谷	新宿	新宿北	豊島	本郷	下谷	北部	浅草	神田	東京中央	日本橋	深川	新局
新局	0.0	230.8	232.8	222.8	238.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
南部	0.0	0.0	221.0	245.0	241.0	245.0	199.0	241.0	243.0	225.0	0.0	203.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
芝	0.0	0.0	0.0	219.4	245.4	235.4	245.4	245.4	241.4	233.4	0.0	243.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
高輪	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	240.4	203.0	0.0	240.4	193.0	0.0	234.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
品川	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	212.0	236.0	232.0	230.0	0.0	204.6	200.6	202.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
渋谷	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	242.2	222.2	244.2	202.8	0.0	244.2	0.0	240.2	230.2	0.0	0.0	0.0
新宿	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	239.2	241.2	215.8	237.2	231.2	215.8	245.2	243.2	245.2	0.0	0.0
新宿北	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	235.6	198.2	0.0	231.6	218.2	226.2	0.0	243.6	214.2	0.0
豊島	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	215.6	0.0	241.0	229.6	209.6	215.6	237.0	195.6	0.0
本郷	244.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	233.4	205.4	0.0	244.8	215.4	0.0	0.0
下谷	213.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	217.8	237.8	241.8	227.8	0.0
北部	246.6	226.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	238.6	224.6	0.0	232.6	0.0	0.0
浅草	243.2	213.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	245.2	0.0
神田	246.2	240.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	216.2	232.2	236.2	0.0
東京中央	250.0	246.0	246.0	236.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	228.0	198.0	0.0
日本橋	254.4	238.4	240.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
深川	247.6	255.6	0.0	0.0	253.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0