

特集 都市とエネルギーシステム

# 都市交通とエネルギー

## Urban Transport and Energy

紙野 桂人\*・伊藤 仁\*

Keijin Kamino

Hitoshi Itoh

### 1. はじめに

現在我が国人口の76.7%は都市部（国勢調査における市部地域）に住んでいる。人口スケールと交通輸送のスケールとはほぼ比例するので、我が国の交通輸送に占める都市のシェアは70%以上とみて良いであろう。都市交通は、国土全体の交通において量的に重要な位置を占めると同時に、我が国の大多数の人間生活の日常の交通需要に関わる上において、より重い社会・経済的意味を帯びているのである。

そもそも人間の定住が集落を育て、交通の結節が「市」を、そして都市を生んだ。交通システムの変化は、都市の盛衰の深く関わっている。なかでも近代社会は、都市交通の手段を発達させ、都市交通網を発展させることによって、世界中の各地域に大都市を成長させたいといっても過言ではない。

都市の経済的成長と輸送需要の伸びとの間には密接な関係がある。都市交通のエネルギー消費に伴う都市環境影響と都市成長のバランスを保ち、エネルギーの

安定供給方策との調整を計って、都市に持続的な発展の可能性を用意しておくことは、特に我が国のような、高度に都市化した列島経済環境において重要な課題であるとみることができよう。

ところで、現在（昭61年度）我が国のエネルギー最終需要に占める運輸部門のシェアは23%と、産業・民生部門に比して必ずしも高くはない。特に先進諸国に比較した場合、低率にとどまっていると言われる。しかし、構造的には石油依存度が極めて高く、環境影響が狭隘な都市空間において集中的に発生するなど見逃せない特徴を帯びている。都市交通とエネルギーの問題は、これからの高度情報化時代、高速交通時代に向けて、計画的な視野で把握し解決策を準備することを要請しているといっても過言ではないであろう。

### 2. 都市交通の仕組みと変遷

都市交通は大きく都市内交通と都市間交通に分けることができる。歴史的には、都市間交通網をいかに形成するかが常に重要な政治的課題であった。これに対

表1 国内輸送需要の見通し・旅客（輸送人キロ） (単位：億人キロ)

現状・計画 輸送機関	現状 (61年度)		第三次全国総合 開発計画 (65年度)		運輸政策審議会 答申 (65年度)		第四次全国総合 開発計画 (75年度)	
	人キロ	シェア	人キロ	シェア	人キロ	シェア	人キロ	シェア
鉄 道	3,348	38.2	4,400	37.7	3,200~3,900	31.2~39.4	3,900	32.9
自 動 車	4,998	57.1	6,400	54.9	5,400~6,200	54.1~60.7	7,200	60.7
海 運	57	0.7	120	1.0	90~100	0.9~1.0	52	0.4
航 空	353	4.0	740	6.4	570~730	5.7~7.1	700	5.9
合 計	8,756	100.0	11,700	100.0	9,900~10,300	100.0	11,000~12,000	100.0

(関西交通経済ポケットブック89年版)

\* 大阪大学工学部建築工学科教授

〒565 大阪府吹田市山田丘2-1

\* 大阪市交通局建設技術本部計画部計画課主査

〒550 大阪市西区九条南1-11-53

表2 国内輸送需要の見通し・貨物（輸送トンキロ）（単位：億トンキロ）

現状・計画 輸送機関	現状（61年度）		第三次全国総合開発計画（65年度）		運輸政策審議会答申（65年度）		第四次全国総合開発計画（75年度）	
	トンキロ	シェア	トンキロ	シェア	トンキロ	シェア	トンキロ	シェア
鉄 道	206	4.8	500	6.7	340～430	4.7～6.0	230	3.8
自 動 車	2,161	49.7	2,900	38.7	2,300～2,600	33.1～35.9	3,200	53.1
海 運	1,980	45.5	4,100	54.6	4,100～4,500	58.8～61.2	2,600	43.1
合 計	4,352	100.0	7,600	100.0	6,900～7,400	100.0	5,600～6,500	100.0

注）合計には航空を含む。

（関西交通経済ポケットブック89年版）

して、近代都市社会においては、大都市内の交通問題が政策課題として改めてクローズアップされる所となった。

都市交通を輸送対象の面で捉えれば、旅客と貨物に大別される。また、輸送手段において区分すれば、大きくは鉄道・道路・海運・航空に、輸送主体においては、大量輸送と個別輸送に分けることができる。都市間輸送は、広域においてはいずれの輸送手段についても可能性があるが、大都市圏では鉄道と道路が主体となる。同様に都市内輸送は現段階においては鉄道と道路に依存している。周知のように、道路輸送は戸口から戸口への機能性に優れ、速達性も兼ね備えているが、道路公共投資とのバランスの崩れを生じ易く、定時性に欠ける弱点を持つ。鉄道輸送は大量性、速達性、定時性に優れているが、路線システム及び運行システムに限定され、フィーダーサービスとして道路輸送と組み合わせることによって機能が完結する場合も多い。輸送手段別のシェアを都市交通に限定してみると、まず、貨物において自動車が相対的に高く、総輸送トンキロ

の50%近くを占めるものとみられる。一方旅客においては道路と鉄道が合わせて総輸送の全体をほぼカバーしているが、道路がその60%近くを占める状態となっている。この点都市交通も、全体としては自動車優位の時期に至っているが、問題を都市における人の移動として見た場合には、鉄道を主体とする高速大量輸送や、整備条件に優れた中量の新交通システムに、多様な可能性が認められる。また今後の航空輸送網の形成如何によっては、通勤用航空という、新たな輸送手段の展開もあり得るし、海や河川を活かした水上輸送に、一定の可能性が生じる条件もある。都市交通は今後もますます多様化する方向にあると考えるべきであろう。

なおここで、都市の交通における旅客輸送の変遷を、大阪市の例（1日平均乗車人員の推移）を通して眺めておくこととする。戦前の都市交通システムの延長上にあった昭和35年から新たな交通の時代に入ろうとしている現在まで、公共交通が路面電車とバスの時代を経て地下鉄の時代へ、そして新交通システムの新たな

表3 大阪市における1日平均乗車人員の推移

年度	路面電車	バ ス	地 下 鉄	トロバス	ニュートラム	合 計
35	953,495人	881,886人	633,857人	80,642人		2,549,880人
40	530,137	1,127,715	1,021,572	151,581		2,831,005
45		796,988	1,907,594	4,857		2,709,439
50		584,620	2,073,545			2,658,165
55		392,945	2,183,030		38,220	2,614,195
60		321,135	2,378,433		43,471	2,743,039
61		319,712	2,396,449		45,438	2,761,599
62		317,504	2,518,956		55,101	2,891,561

（大阪市交通局資料）

登場へと動いている実態が読み取れるであろう。

### 3. 都市交通のエネルギー比較

都市間旅客輸送の手段としては、高速鉄道（新幹線）、航空機、高速バス、乗用車があり、その利用のされ方は異なっている部分もあるし、競合する部分もある。これらを利用する場合の判断としては、所要時間や費用が大きいと思われるが、ここではエネルギーからみた効率的な輸送システム、特に高速鉄道の整備の必要性を考えてみる。

資料としては少し古くなるが、現在とそう変わっていないと思われるので、表4に各交通手段のエネルギー比較を示す。これによると、エネルギーからみた交通手段としては、明らかに高速鉄道（新幹線）と高速バスが優位に立っている。その中でも高速鉄道の方が若干良く、しかも大量性では比較にならないので、高速鉄道すなわち新幹線網を充実すべきであるとの結論がでる。

この資料は、交通量の極めて多い東海道新幹線と東

名・名神高速道路の例であるが、都市間旅客輸送のうち公共交通機関の利用率が一定であると仮定すると、交通需要が少なくなっても維持管理エネルギーや建設製造エネルギーの項が相対的に上昇するが、この両項目の人キロ当たりのエネルギー原単位が小さい高速鉄道が、ますます有利になる。

次に、大都市圏旅客輸送のエネルギー比較をすると表5のようになり、ここでは鉄道（電車）の優位性が明白である。

今後の鉄道整備という観点からみると、大都市では地下鉄道が予想されるので、維持管理エネルギーと建設エネルギーがかなり高くなるとされるマイナス要素もあるが、技術の進歩により、VVVFインバータ制御（注1）や回生ブレーキ（列車の運動エネルギーを電気エネルギーに変え有効利用）を用いて運行エネルギーが約30%減になる車両が開発されているなど、鉄道にとって有利な面もでてきている。

さらに、鉄道の大量性は、他の交通手段の追従を許さず、大都市における交通手段としてうってつけであ

表4 都市間高速輸送のエネルギー比較（東京～大阪）

項目	機 関 別	新幹線ひかり	航 空 機 B747-SR	高 速 バ ス 350馬力	乗 用 車 2000~1300cc
エネルギー消費率 ※1 (カロリー換算値)		2.59kWH/車・キロ (2450kcal/kWH)	21.3kg/機・キロ (10,280kcal/kg)	0.36ℓ/台・キロ (9,200kcal/ℓ)	0.102ℓ/台・キロ (8,600kcal/ℓ)
運行エネルギー kcal/走行キロ	①	6,300 kcal/車・キロ	220×10 <sup>3</sup> kcal/機・キロ	3,300 kcal/台・キロ	880 kcal/台・キロ
維持管理エネルギー	②	420 "	22×10 <sup>3</sup> "	520 "	110 "
建設製造エネルギー	③	540 "	— "	270 "	140 "
総合エネルギー ①+②+③	①	7,260 "	242×10 <sup>3</sup> "	4,090 "	1,130 "
総合/運行	①/①	1.15	1.10	1.24	1.28
座席定員	人/車	84	500	40	5
乗車人員 (利用率 %)	㊄	54.5 (65%)	415 (83%)	24.6 (62%)	2 (40%)
エネルギー原単位 kcal/人・キロ	運行①/㊄	116	530	135	440
	総合①/㊄	133	583	166	565
同 上 比 率		<1.0>	<4.4>	<1.2>	<4.2>
(参考) 所要時間 ※2		3°10'	1°	9°20'	6°30'

出典：佐藤金司「鉄道とエネルギー」・交通学研究1980年 原典：国鉄・経営計画室「交通とエネルギー」昭55. 10

※1. 新幹線一走行試験データ、航空機一科学技術庁資源調査所資料77号、バス東名・名神国鉄バス実績、乗用車一高速道路調査会資料。

② 駅・街路照明、車両工場等消費分、施設・車両等の取替補修材料。

③ 地上施設（東海道新幹線、東名・名神高速道路）の建設、車両等の製造。

㊄ 昭和52年度実績（国鉄、航空、国鉄バス統計年報）、乗用車は想定。

※2. アクセス、休憩等の時間は含まない。

表5 大都市圏旅客輸送のエネルギー比較

項目	機関別	電 (通 勤 型)	バ (大 型)	乗 用 車 (自 家 用)
運行エネルギー kcal/走行キロ ①		4,200kcal/車キロ	3,400kcal/台キロ	1,000kcal/台キロ
維持管理エネルギー	②	1,390	730	120
建設エネルギー	③	200	60	20
車両製造エネルギー	④	230	220	100
総合エネルギー	①+……+④	6,020	4,410	1,240
平均乗車人員 人/車	㉞	80.4	15.8	1.4
エネルギー 原単位 kcal/人・キロ	運行①/㉞E 1	$\frac{52}{<1.0>}$	$\frac{215}{<4.1>}$	$\frac{714}{<13.7>}$
	総合①/㉞E 2	$\frac{75}{<1.0>}$	$\frac{280}{<3.7>}$	$\frac{890}{<11.8>}$
	戸口～ 戸口 E 3	$\frac{80}{<1.0>}$	$\frac{280}{<3.5>}$	$\frac{890}{<11.8>}$
(参考) アメリカ議会予算局レポートより、戸口～戸口		$\frac{1030}{<2.1>}$	$\frac{480}{<1.0>}$	$\frac{1570}{<3.3>}$

出典：佐藤金司「鉄道とエネルギー」・交通学研究1980年 原典：国鉄・経営計画室「交通とエネルギー」昭55. 10  
 ①電車：東京、大阪の国電平均、バス・乗用車：首都圏平均（52年度）  
 ②電車：東京三管理局実績。道路：東京都道。バス：国鉄バス。乗用車：諸資料より推定  
 ③鉄道：武蔵野線。道路：東名・名神高速道路。耐用年数は50年。通過交通量：電車—2900車/日、自動車—7万車/日  
 ④寿命走行キロ：電車—212万キロ、バス—50万キロ、乗用車—10万キロ  
 E3 アクセスエネルギー：大都市交通センサスより鉄道利用者のアクセス分追加  
 < > 最小値を1.0とした交通機関間指数

表6 貨物輸送のエネルギー比較

(単位：10<sup>4</sup>kcal/トン)

地域	積載率	機関別	鉄 道 フレートライナー	自 動 車 11トントラック	船 舶	
					貨物フェリー	コンテナ船
東京～大阪	100%		4.5	15.3	12.1	4.8
	50%		6.4	27.5	21.9	8.7
	実 績		$\frac{<1.1>5.5}{70\%}$	$\frac{<3.3>18.4}{※1 80\%}$	$\frac{<2.4>13.2}{※2 90\%}$	$\frac{<1.0>5.2}{※2 90\%}$
	距離 KM 時間		$\frac{555}{10^{\circ}36'}$	$\frac{547}{10^{\circ}24'}$	$\frac{680}{20^{\circ}35'}$	$\frac{680}{32^{\circ}0'}$
東京～札幌 ※3	100%		23.2	46.6	18.4	14.1
	50%		39.8	85.8	33.3	24.7
	実 績		$\frac{<1.8>28.3}{80\%}$	$\frac{<3.7>56.2}{※1 80\%}$	$\frac{<1.3>20.1}{※3 90\%}$	$\frac{<1.0>15.3}{※3 90\%}$
	距離 KM 時間		$\frac{1158}{21^{\circ}18'}$	$\frac{1150}{34^{\circ}0'}$	$\frac{1040}{30^{\circ}05'}$	$\frac{1040}{36^{\circ}0'}$
最大貨物積載量 t			465	11	2600	2600
エネルギー原単位 kcal/tkm			99	336	194	76

※4

出典：佐藤金司「鉄道とエネルギー」・交通学研究1980年 原典：国鉄・経営計画室「交通とエネルギー」昭55. 10  
 ※1：トラックの実績積載率は推定値  
 ※2：東京～大阪には就航船舶がないので想定配船による。  
 ※3：船舶については東京～苫小牧間である。  
 ※4：エネルギー原単位は東京～大阪のデータである。（筆者により変更）  
 (10<sup>4</sup>kcalは石油1kgに相当する)

表 7 交通渋滞時間の推移

地域 \ 年	55	56	57	58	59	60	61
大阪市	100.0	87.4	87.3	90.0	108.5	112.6	112.6
大阪府下	100.0	108.3	110.1	111.2	118.5	123.0	132.0
大阪府計	100.0	94.4	95.0	99.1	112.2	115.5	120.5
高 速	100.0	94.3	93.6	107.9	117.9	136.1	148.1

(注) 数値は昭和55年を100としたときの交通渋滞時間の伸び率である。  
資料：大阪の交通白書

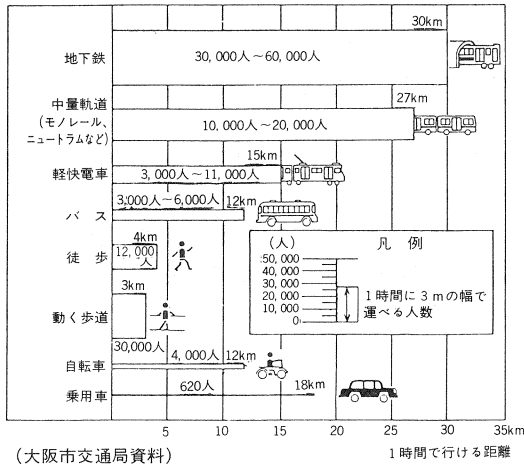


図-1 都市内における交通機関の輸送能力と表方速度

表 8 バス使用燃料量

年度	1日平均燃料使用量	1日平均走行	1kmあたり燃料使用量
35	45,901 l	155,930km	0.294 l / km
40	69,110	211,180	0.327
45	60,052	175,393	0.342
50	56,471	149,027	0.381
55	41,664	102,964	0.405
60	40,027	88,207	0.454
61	39,911	87,983	0.454
62	40,517	88,651	0.457

(大阪市交通局資料)

る。今後、ますます増大すると予想される交通需要に対して、省エネルギー性、大量性、高速性に優る鉄道の整備は必要欠くべからざるものといえる。

また一方、バスや乗用車の走行環境は年々悪化してきており、運行エネルギーの増大をきたしている。この解決策である道路整備は、現に生活や経済活動をしている土地の買収が必要であり、最近の地下高騰の情

勢からも遅々として進まないのが現状である。このことから、鉄道整備の必要性が高まっている。

但し、大都市圏旅客輸送のエネルギーは、都市間のそれと比較して、維持管理エネルギーの比率が高いうえに、地下鉄道を想定すれば建設エネルギーの比率も高くなると予想できるので、輸送需要や乗車効率が下がると、一挙にエネルギー原単位が上がる場合がある。

もちろん、都市間や大都市圏の鉄道整備はエネルギー消費ではなく他の要因から決定される場合がほとんどであるが、地球的規模での環境問題やエネルギー問題が議論されはじめた今日、エネルギー消費の観点からも公共交通、その中でも鉄道が有利であることは意義があると言えよう。

長距離貨物輸送の場合のトンキロ当たりのエネルギー原単位は、表6のように鉄道(フレートライナー)と船舶(コンテナ船)が有利になっているが、現状はトラック輸送が大半を占めている。費用や所要時間の問題はあがるが、エネルギー消費の優位性を活かして、フィーダー輸送に改良を加えれば、長距離貨物輸送における鉄道や船舶のシェアを上げる可能性があるだろう。

運行エネルギーだけであるが、運輸白書による最近のデータ(昭和61年度)を表9に示している。

#### 4. 都市高速輸送の新戦力とエネルギー消費

大都市の公共交通は地下鉄とバスが主役であった。しかしながら、1時間の輸送需要としては地下鉄が約3万人~6万人、バスがおおよそ1万人以下が適正な規模と言われており、その中間の輸送需要に対応する交通機関がなかったが、近年、登場してきたのが新交

注1:VVVFインバータ制御

直流電源から大電力半導体素子(GTO)を主回路に用いて、三相交流をVVVF(可変電圧可変周波数)に発生させ、三相交流電動機を直流電動機の特長に駆動させる方式である。ブレーキには回生ブレーキが効率良く作動し、30~35%の省エネが可能であり、ブラシレスとなるためメンテナンスフリーとなる。

表9 輸送機関別エネルギー消費量(昭和61年)

輸送機関	鉄道	営業用 バス	自家用 トラック	営業用 トラック	乗用車	内航海運
旅客 (Kcal/人 km)	103	174	—	—	644	—
貨物 (Kcal/t km)	163	—	2,106	604	—	129

資料：運輸白書

通システム(モノレールを含む)とリニアモーター地下鉄である。新交通システムは約1万人/h～2万人/h、リニアモーター地下鉄は約2万人/h～3万人/hの輸送能力を持ち、バスと地下鉄をあわせて、各種の輸送需要にあった輸送機関が揃ったことになる。

一例として大阪市のニュートラムとリニアモーター地下鉄を紹介する。

ニュートラムは、昭和56年3月に登場し、大阪南港の中ふ頭と住之江公園約6.6kmを結んでいる。特徴としては、コンピューター制御による自動運転、ゴムタイヤ式の低騒音車両、車両長7.6mの軽量小型車両(定員75人)などがあげられ、6両編成2分ピッチの運転が可能である。

ニュートラムの年度ごとの全エネルギー消費量は、表10に示され、昭和62年度で2.28kwh/車kmになっている。実測による人キロ当たりの走行用エネルギー消費は、乗車効率により大きく変動するが、50%乗車

と仮定すると60kcal/人キロ程度になり、ほぼ鉄道と同一である。ゴムタイヤで摩擦係数が高くエネルギー消費が多い分を回生ブレーキと車両の軽量化でカバーしている。

都市交通用のリニアモーター車は、平成2年3月開業予定の第7号線京橋～鶴見緑地間に日本で初めて導入されることになっている。特徴としては中量規模の地下鉄車両で、駆動方式に従来の回転型モーターに替わり偏平なリニアモーターを採用している。これにより、車両の小型化による建設費の低減が図れること、車輪の回転力によらない非粘着駆動のため急勾配の走行が可能であること、台車にステアリング方式が採用できるため急曲線をキシリ音もなくスムーズに走行できるなど、電気鉄道にとって画期的な駆動方式になると期待が寄せられている。

リニアモーター車のエネルギー消費は、トン・キロ当たりで初期の省エネ車である10系車と同程度と推定

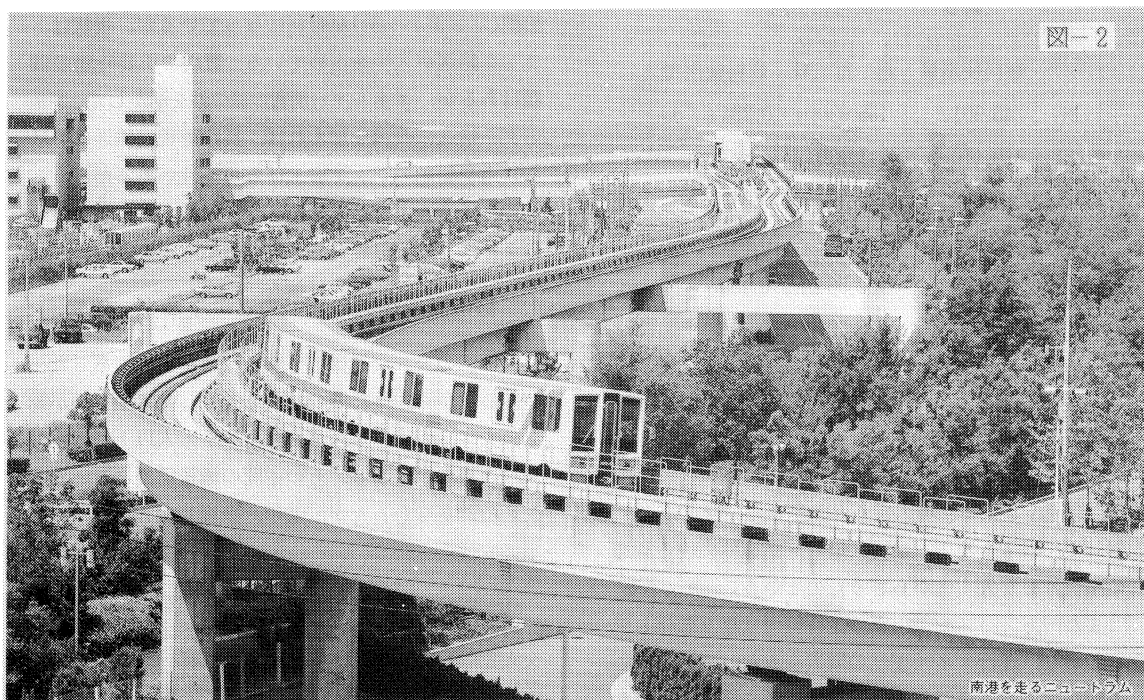


図-2

図-2 南港を走るニュートラム

表10 ニュートラム使用電力量 (1日平均)

年度	使用電力量	走行料	車両数
55	22,335KWh	8,889車km	52両
60	22,561	9,209	64
61	22,735	9,784	64
62	22,920	10,062	64
63	22,494		64

(大阪市交通局資料)

されているが、人キロ当たりのエネルギー消費量はやや悪くなり、50%乗車で約60kcal/人キロ程度になると思われる。まだ、開発初期の段階であり、リニアモーターとリアクションプレートとの空隙を小さくするなど、効率を高めることが可能であるので、若干減少することが考えられる。

新交通システムやリニアモーター車は歴史が浅く、開発目的も省エネルギーではないが、バスや自動車に比較すると相当効率的であると言える。

5. 都市交通とエネルギー問題

昭和61年度における、我が国の運輸部門が占めるエ

ネルギー最終需要のシェアは23%で、これは過去5年間の過程を通じて2ポイントの増加であった。(平成元年度・運輸白書) これからの都市社会の展開の中で、運輸、中でも都市交通部門のエネルギー消費はどうか推移するかを考えてみると、まず高度情報化社会が展開する中で、デジタルな情報データベースの強化と同時に、人間相互のライブな情報交流の活性化と、都市活動の24時間化が、都市全体を揺り動かす情勢となることは、世界の諸都市の実態からみて明らかである。その中で、特に我が国の特性を反映した趨勢として、女性の社会進出、国際化に伴う人口流動、生活行動のフレックス化や余暇時間の増大に伴う交通需要の増加、高齢者の社会活動など都市交通の旅客輸送をより活性化していくニーズの増大要因が数多く指摘されている。さらに、今後の大都市構造は、政策的に見て多極構造化の流れに向かおうとしている。そのトリガーとして都市交通網の再編強化が求められている。それはベイエリア開発など都市更新の動きにおいても同様である。地方空港整備や第2新幹線整備に代表される新たな都市間交通網の国土的展開もまた予想される所である。

都市交通のエネルギー消費が、今後そのシェアを高めていくことは、基本的な流れとして必要であり、そ

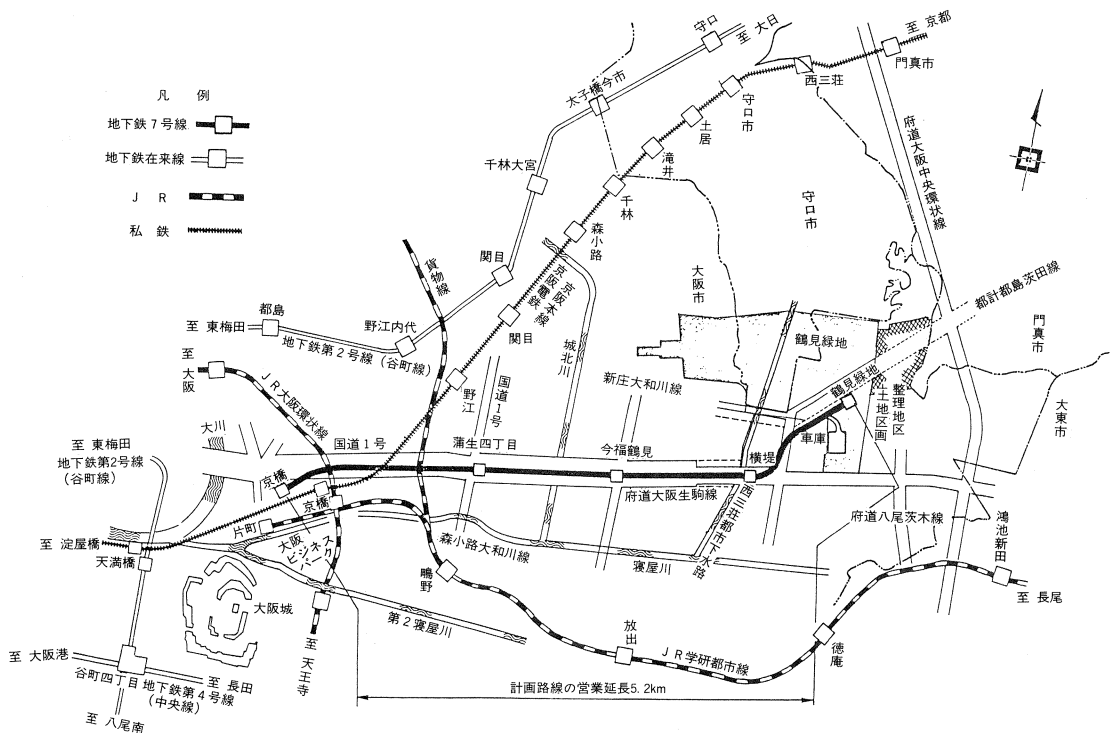


図-3 第7号線京橋・鶴見緑地間路線図

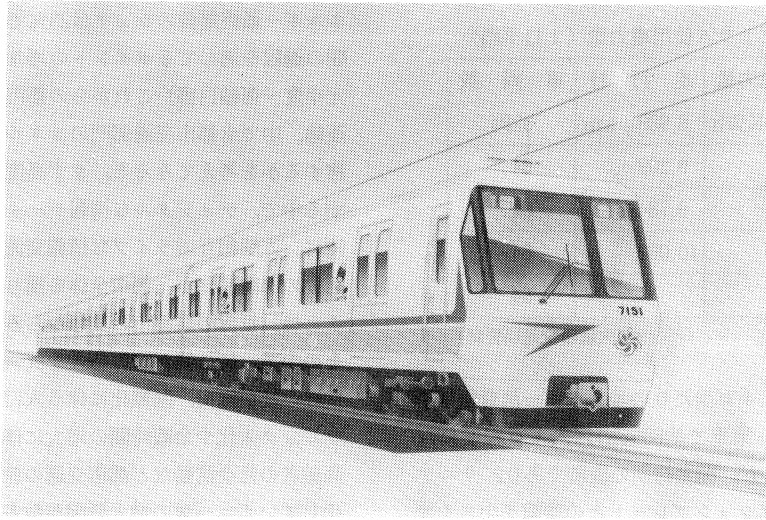


図-4

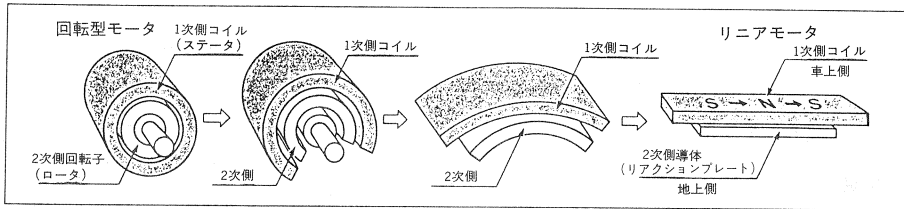


図-5 回転型モータからリニアモータへの展開

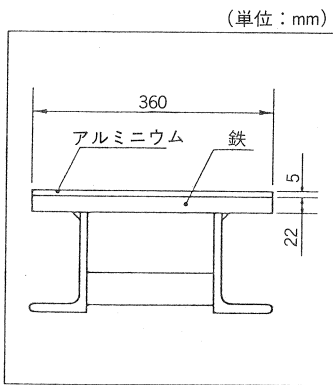


図-6 リアクションプレート (平板式) 断面図

れによって、国土全体にわたる高度に情報化された都市文明の展開が、可能になると見ることができよう。その一方で、エネルギー消費に関する総合環境条件の調査の課題に取り組む必要性が認められる。

今後の都市交通が、基本的に多様な手段の選択可能な、代替性の幅広い、ゆとりある構造に向かうべきことが、今後の、フレックス化されブラウン運動化すると予想される都市交通需要に、応える道として考えら

れる。単なる総需要抑制型の交通政策では成功しないと見るべきであろう。

もちろんその対策として、省エネルギー性の高い交通機関、すなわち鉄道及び新交通システムの整備があげられる。都市交通網整備・拡充の基本策として、そのおもいきった整備に向けて、政治的・経済的・社会的そして技術的条件を整えることは、極めて有効な研究対象となるであろう。さらに言えば、鉄道に代表されるこれからの公共交通サービスは、一定の快適性を満足して初めて有効な手段となる時代に入っている。省エネルギー性を備えた快適化の技術的展開もまた、大切である。

都市交通が基本的に鉄道と道路交通に支えられる構造を持つことは今後も大きくは変わらないであろう。ただし、広域的な都市間交通について航空輸送のシェアが次第に増大することもまた実態として生じるであろう。これら石油依存率の極めて高い交通手段における省エネルギー対策、特に自動車のエネルギー改革の必要性は今後ますます重くなると言えよう。