

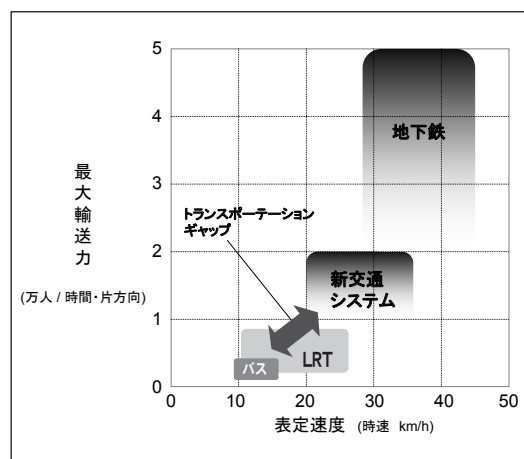
## 持続可能な交通システムへのモダルシフト —都市における路面交通システム (LRT、BRT、バス) の方向性—

2007年に発表されたIPCC（気候変動に関する政府間パネル）第4次評価報告書が示した温室効果ガス緩和策の一つに、車から公共交通へのモダルシフト（輸送手段の転換）が挙げられており、車に過度に依存したライフスタイルや行動パターンの変革を後押しする政策が不可欠と述べられている。また、1996年にOECDが定義した“環境的に持続可能な交通システム”EST（Environmental Sustainable Transport）では、環境的側面だけでなく人々の健康面や社会、経済的側面からの指針が示されており、我が国においても、温暖化対策とともに、都市のコンパクト化を目指したまちづくりを実現・推進するためのキーワードの一つとして位置づけられている。

最近、国内外でよく見かけるようになってきたLRT（Light Rail Transit）と呼ばれる路面電車やBRT（Bus Rapid Transit）と呼ばれる車両連結型のバスは、このような社会的要請に応えるべく登場してきたものである。新交通システムに迫る速度と、モノレール（新交通システム）の2～5割の整備コストという位置付けが、これまでのトランスポーテーションギャップを補うものと期待され、多くの都市で活発に導入されている。近未来的な外観とともに、低床化やICカード式改札という新技術も搭載されている。また、電池を搭載し給電を必要としないLRTの実用化も急速に進展中である。

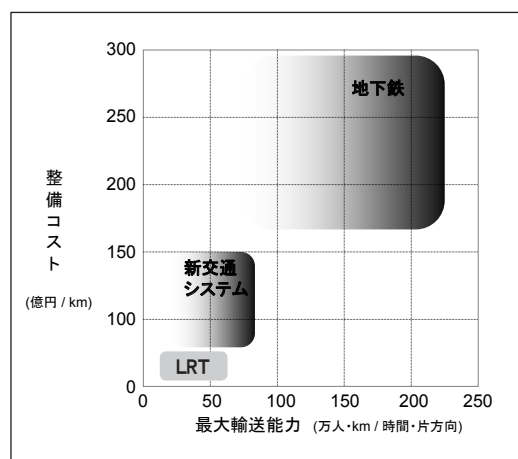
将来の路面交通機関のあり方として望まれるものは、「安全で環境にやさしく、コンパクトで活気のあるまちづくりに貢献する公共交通」であると言える。利便性と社会的便益を高めるための技術開発をさらに推進することができれば、都市における自発的な公共交通へのモダルシフトはより加速し、過度な車依存社会から脱することが可能になるものと考えられる。

公共交通機関の輸送能力



参考文献<sup>6)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

公共交通機関の整備コスト



参考文献<sup>6)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

# 持続可能な交通システムへの モーダルシフト

—都市における路面交通システム (LRT、BRT、バス) の方向性—

藤本 博也

環境・エネルギーユニット

## 1 はじめに

2007年に発表されたIPCC(気候変動に関する政府間パネル)第4次評価報告書<sup>1)</sup>は、20世紀半ば以降に観測された全球平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガスの増加によってもたらされた可能性が高い、と結論づけるとともに、今後数十年にわたる適切な緩和策によって世界の温室効果ガス排出量の伸びを相殺し、削減できるとしている。この緩和策の重要方策の一つに、車から公共交通へのモーダルシフト(人や貨物の輸送手段を転換すること)が挙げられており、このためには、車に過度に依存したライフスタイルや行動パターンの変革を後押しする政策が不可欠と述べられている。

一方、欧州では、モータリゼーションが進展中であった1980年代から、都市部の公共交通を推進するための議論が盛んに行われてきた。それは、都市部の大渋滞が原因によ

る大気汚染、およびその汚染による歴史的遺産の喪失などを防ぎ、車で占拠されて居心地が悪くなった「まち」を再生させたい、という人々の思いが動機となっていた。終戦後にほとんど消滅した路面電車が欧州で復活したのは、この頃からである。そしてこのような議論は、1996年にOECDがまとめた“環境的に持続可能な交通システム”(Environmental Sustainable Transport, EST)という定義とそのガイドライン<sup>2)</sup>にも踏襲された。ガイドラインには、人々の健康面への配慮や社会・経済的側面との両立など多くの視点からの指針が述べられている。このESTという交通システム概念は、我が国においても、温暖化対策とともに将来あるべき社会システムとして認識されており、都市のコンパクト化<sup>注1)</sup>を目指した活気ある「まちづくり」を実現・推進するためのキーワードの一つとして

位置づけられている。

最近、国内外でよく見かけるようになってきたLRT(Light Rail Transit)と呼ばれる路面電車やBRT(Bus Rapid Transit)と呼ばれる車両連結型のバスによる交通システムは、このような社会的要請に応えるべく登場してきたものであり、整備コストが比較的廉価でもあるため、多くの都市で活発に導入されている。従来のアンティークな路面電車やバスと比べて近未来的な外観だが、新しい部分はそれだけではない。新たな技術開発の進展によっては、路面電車やバスという枠組みにはおさまらない、新たな公共交通サービスへと進化していく可能性がある。

本稿では、LRTの技術動向を中心に紹介するとともに、将来社会ニーズを踏まえた今後の路面交通システムに関する技術の方向性について考察する。

### ■ 用語説明 ■

注1 都市のコンパクト化(コンパクト・シティ): モータリゼーションの進展に伴い、車使用を前提とした住宅地や商業地が郊外に無秩序に形成された結果、生活機能が広範囲に点在する「まち」が多く出現した。このような「まち」では、人や物の移動が非効率だけでなく、中心市街地の空洞化によって経済活動が抑制されたり、車依存に伴う健康面への悪影響が懸念されるなど、多くの問題が指摘されている。「都市のコンパクト化」は、このような問題を解決するための概念的施策を指し、すでに世界の多くの都市で実施されている。(詳細は2-4参照)

## 2 公共交通機関へのモーダルシフトの必然性

### 2 - 1

#### 車依存の概況と将来

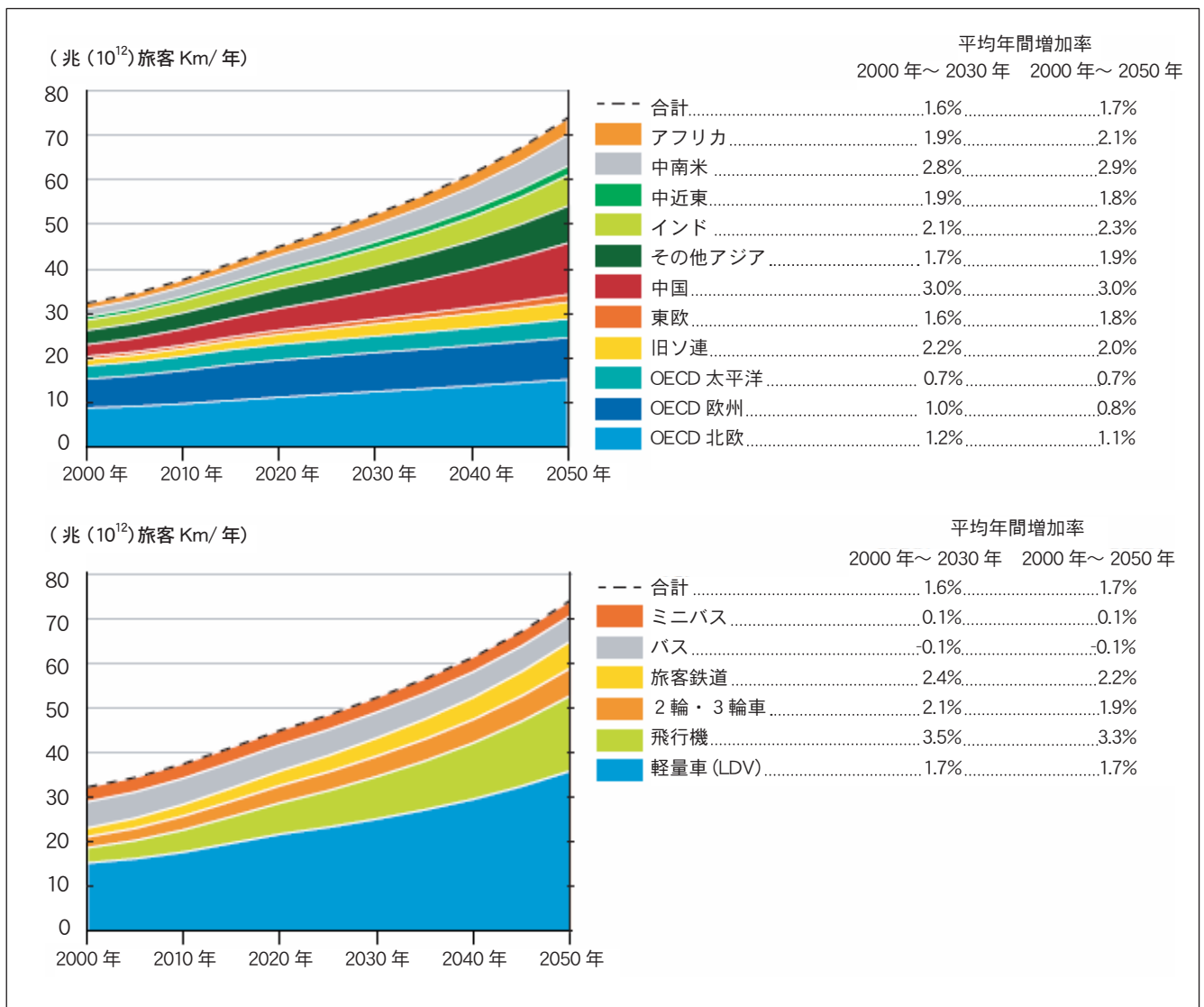
2004 年、持続可能な発展のための世界経済人会議(WBCSD)が 2050 年までの人と物の輸送についてまとめた報告書「Mobility 2030」<sup>3)</sup>によると、人の輸送活動は世界中で増加し、特に発展途上国における活動の増加は急速である、とされている(図表 1)。これは、1 人あたり実質所得の伸び

などによって自家用車の所有率が増加し続けることが要因である。特に東欧や旧ソ連、中南米、および中国における増加が今後は顕著であると見込まれている(図表 2)。輸送車両のエネルギー効率が将来技術で改善すること(乗用車で平均 18%、トラック・航空機で平均 29%のエネルギー削減率と想定)を加味しても、温室効果ガス排出量の抑制効果は、車両数と平均的な利用の増加により相殺され、結果として、温室効果ガス排出量は増加し続けると見積もら

れている(図表 3)。

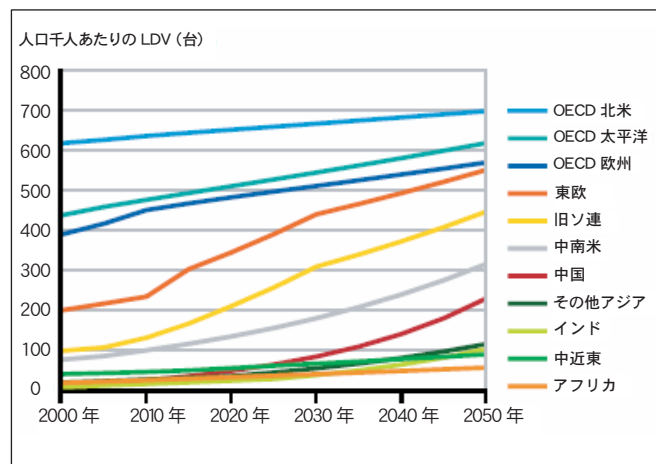
ここで注目すべき点は、乗用車(LDV)(図表 3)の温室効果ガス排出量が継続的に増加し続け、将来にわたって高い排出比率であり続けるということである。発展途上国にとってのモータリゼーションの進化は人や物の移動範囲を拡大し、経済活動を高める、という点においては歓迎されることであるが、温室効果ガス排出量の観点からは憂慮すべき事態である。

図表 1 人の移動活動



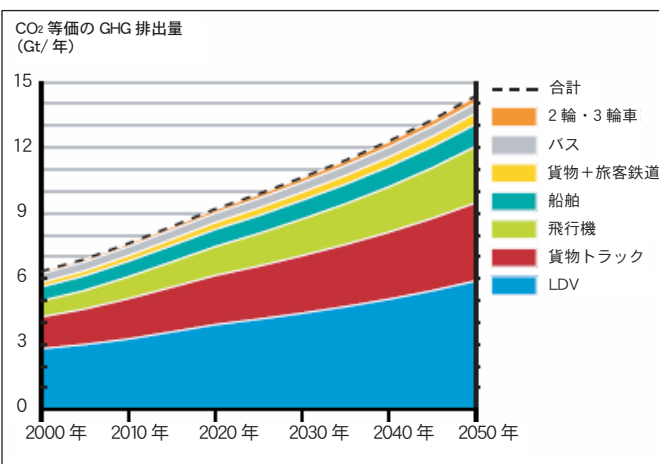
出典：参考文献<sup>3)</sup>（原典：国連（UN）2001、WBCSD Mobility 2001）

図表2 自家用車保有率(地域別)



出典：参考文献<sup>3)</sup>(原典：国連(UN)2001、WBCSD Mobility 2001)

図表3 温室効果ガス排出量(全世界合計)



出典：参考文献<sup>3)</sup>(原典：国連(UN)2001、WBCSD Mobility 2001)

2 - 2

社会の車依存率

では、現在の車依存は、具体的にどの程度の比率を占めているのでしょうか。図表4は、世帯家計の支出に占める輸送費用について、米国、英国、日本における結果をまとめたものである。2003年の家計総支出に占める輸送費用の割合は、米国が最も大きく19.3%、日本は8.5%であった。さらに輸送費用の内訳を見ると、米国における公共交通機関の費用支出はわずか5.2%であり、残りの9割以上が車両の購入と車両の運転・維持という自家用輸送手段の費用支出に費やされていたことがわかる。日本における公共交通機関の比率は28.7%と圧倒的に高いが、それでも残りの71.3%が自家用輸送手段に対して支出しているというのが現状である。図表5は、人が移動する際、どの交通機関を選択するのかについてまとめた、モーダルスプリットの結果である。自動車使用の比率は、米国の平均で80%強、欧州の平均(EU15)で80%弱と、両地域とも高い車依存状況を示している。日本の平均は60%弱と、

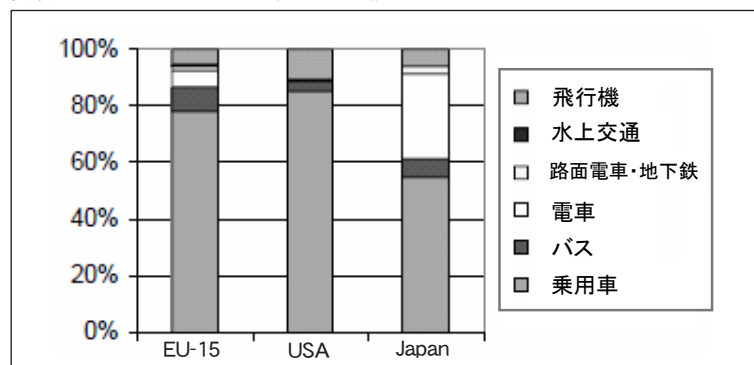
図表4 世帯家計の支出に占める輸送費用

	米国	英国	日本
家計総支出に占める世帯の輸送費用の割合	19.3%	16.7%	8.5%
世帯の輸送および移動費用の内訳			
公共交通機関	5.2%	13.5%	28.7%
鉄道	na	3.1%	15.6%
バス	na	2.2%	3.0%
タクシー	na	na	2.9%
航空機	na	2.0%	2.7%
高速道路	na	na	4.1%
その他	na	6.0%	0.4%
自家用輸送手段	94.7%	86.5%	71.3%
車両の購入	46.9%	36.9%	22.7%
自動車の購入	46.3%	34.7%	21.2%
2輪車/その他の購入	0.6%	2.2%	1.5%
車両の運転および維持	47.9%	49.6%	48.6%
ガソリン/モーターオイル	16.8%	24.5%	16.6%
維持/修理/部品	8.7%	9.6%	8.3%
駐車	na	na	7.1%
保険	10.7%	12.7%	11.5%
その他	11.7%	2.8%	5.0%

na = 出所よりデータが示されていない。「その他」に含まれていると考えられる。

出典：参考文献<sup>3)</sup>(原典：Japan Family Income and Expenditure Survey, UK DfT 2003, US BLS 2003.)

図表5 モーダルスプリットの比較



出典：参考文献<sup>4)</sup>

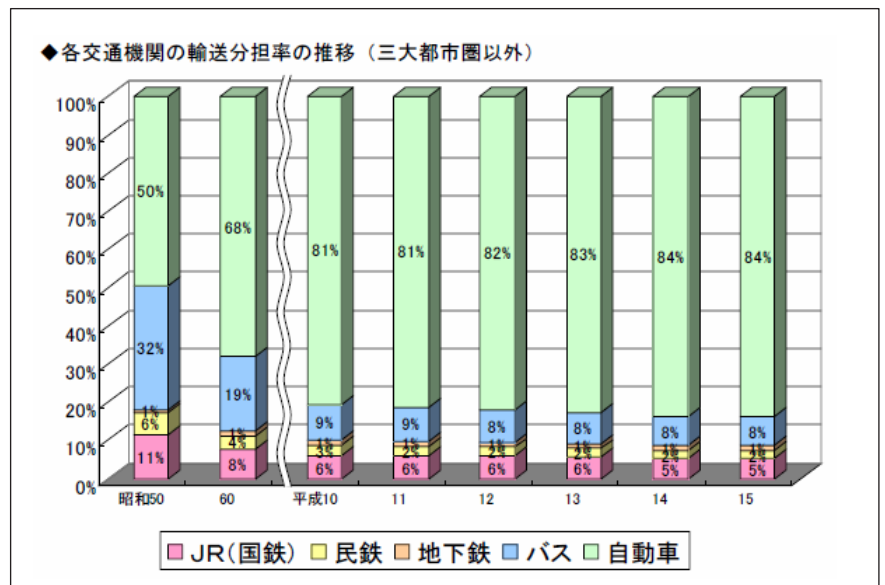
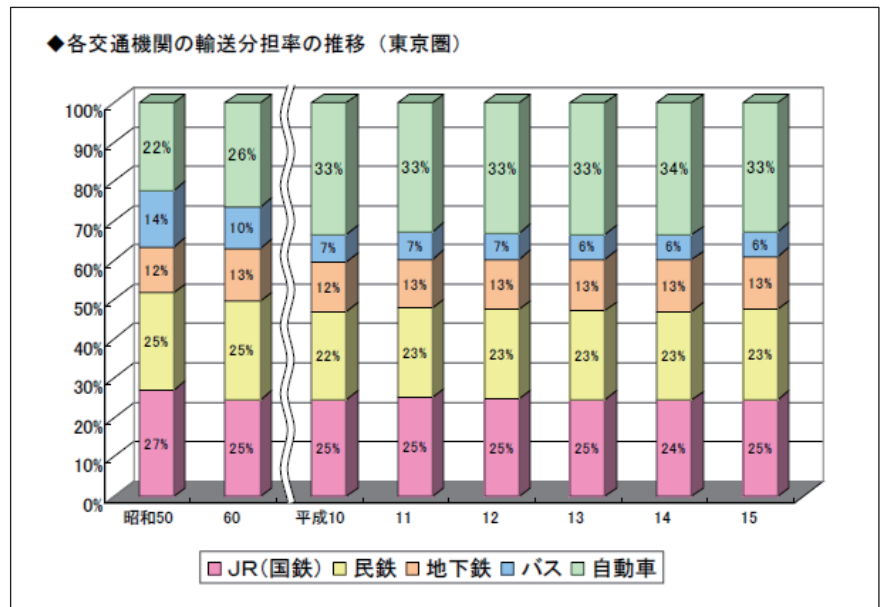
欧米と比べれば低い依存状況であるが、都市圏の規模別に比較するとばらつきは大きい(図表6)。2003年(平成15年)の東京圏における自動車使用比率は33%と非常に低い。一方、三大都市圏(東京、大阪、中京)を除く全国の地方都市圏における自動車使用比率は84%と高く、同時に鉄道の使用比率が8%と極めて低い。このことより、日本においては、規模の小さい地方都市圏において、車依存が顕著であることが分かる。

2 - 3

## 交通手段による 環境負荷の違い

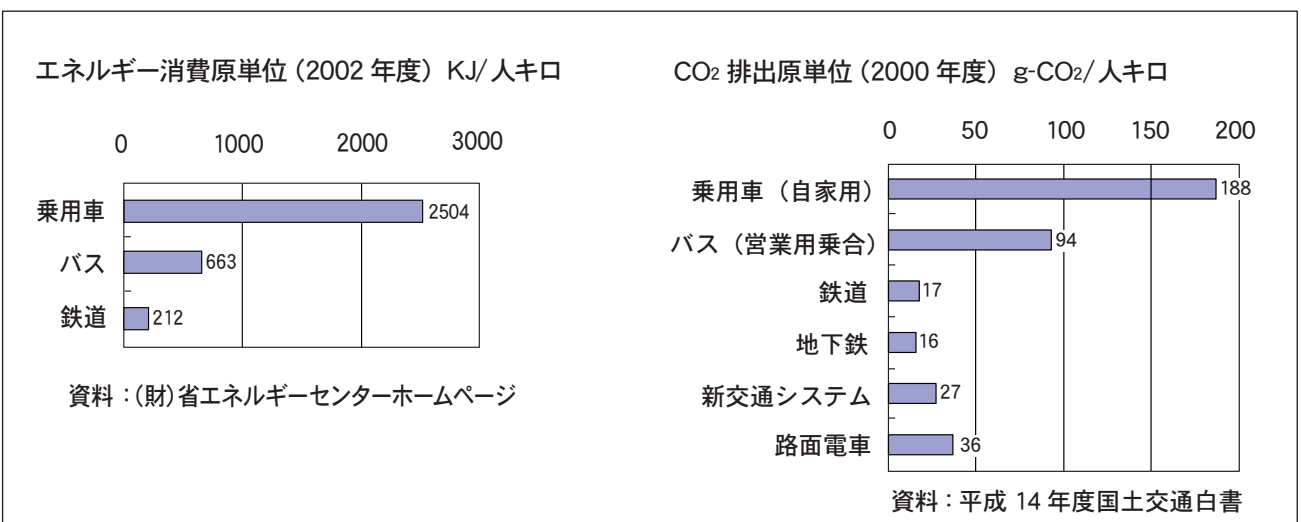
車依存型社会の問題は、環境に与える影響の大きさにある。図表7は、交通機関の使用によってどれくらいのエネルギーを消費し、CO<sub>2</sub>を排出するのか、交通機関別に比較した結果である。乗用車の原単位はエネルギー消費、CO<sub>2</sub>排出量ともに大きく、鉄道の10倍以上、バスの2倍以上ある。このことから、単位輸送(人・km)あたりの環境負荷に優れる公共交通機関を利用促進することが、地球温暖化対策の施策の一つになることが明らかである。しかしながら、

図表6 日本における都市圏規模別のモーダルスプリット



出典：参考文献<sup>5)</sup>

図表7 交通機関別のエネルギー消費とCO<sub>2</sub>排出量の原単位



出典：参考文献<sup>6)</sup>

そもそも誰もが公共交通機関を利用可能なのか、という公平性や、用途や利便性などライフスタイルに合致しているか、という有益性が必要要件として備わっていなければ、自発的な公共交通機関への乗り換えを期待するのは難しい。最近、国内外でよく見かけるようになってきたLRTと呼ばれる路面電車は、このような社会的要請に合致するものとして注目されており、「まちづくり」を革新するために不可欠な道具として位置づけられているのである。

## 車依存による「まち」の問題と対策

1970年代頃からのモータリゼーションの進展に伴って、車使用を前提とした住宅地やショッピングセンターなどが無秩序に郊外に形成された結果、「まち」としての機能が広範に拡散して点在し、かつ分断された状態に陥った（これをスプロール化と呼ぶ）。スプロール化した「まち」では、①人や物の移動に要するエネルギーおよび時間的損失が大きい、②人々が歩かなくなるので、成人病など健康面への影響が懸念される、③高齢者や子供などは車を運転できないので、交通機関サービスとしての公平性に欠ける、④中心市街地の人口密度が低下し、経済活動の発展が抑制される、など多くの社会的問題が指摘されてきた。現在、世界の多くの都市で実

施されている「都市のコンパクト化」は、このような問題を解決するための概念的施策であり、中心市街地において商業だけでなく居住も含め多面的に集積度を高め、コンパクトで活気ある「まちづくり」の再構築を目指す考え方である。そして、このような「まちづくり」を実現させるための鍵の一つが、LRT 導入による新たな交通ネットワークの形成である。居住、就業、病院、学校、商店、行政など、生活機能として必要な施設のできるだけ多くを LRT で繋ぐことによって、人々が徒歩で「まち」の中を移動できることを前提としたコンパクトな「まちづくり」を目指している。コンパクト化の具体的な方策としては、都市機能の集約形態によって、中心市街地に集中して「まち」を形成する“一箇所集中型”と、複数の小さな「まち」を結ぶ“多核的集約型”の2種類に大別される。

1980年代から施策が展開されてきた欧米に比べて我が国は遅れているが、2006年に改正された「まちづくり三法」を起点に、今後日本においても「都市のコンパクト化」が加速するものと思われる。

## 2 - 5

## LRTを導入した 「まち」の事例

国内におけるLRTの導入例として注目されている富山市について、以下に概要を記す<sup>7)</sup>。

富山市は、全国の県庁所在都市

の中では人口集中地区の人口密度が最下位と空洞化が進む一方、郊外での持ち家志向や自動車依存のいずれもが極めて高い水準にあった。このような市街地のスプロール化が進むことによって、道路等都市施設の整備・維持、訪問介護等の福祉サービス、およびごみの収集や除雪など、移動を要する行政サービスの効率性が低下すると同時に、行政サービスを維持・改善するための財政的負担が増大し続ける、という状況に直面していた。また、既存の鉄道やバスは、利用率の低下に伴って本数を減らすなどサービスが悪化し、結果としてさらに利用者が減るという悪循環に陥っていたため、特に高齢者や子供など交通弱者にとっての移動手段が乏しく、不便で暮らしにくい状況となっていた。そこで、富山市は「コンパクトなまちづくり研究会」を2002年に発足させ、将来目指すコンパクトな「まち」の姿を策定し、市民・企業・行政が協働で取り組む実行計画を作り上げた。この計画の中でコンパクトな「まちづくり」のための軸となったのが、LRT導入による新たな交通ネットワークの形成であった。富山市では、すでにいくつかの「まち」に作られていた都市機能を生かし、それらを交通ネットワークで結ぶ“多核的集約型”の方策を選択した。この考え方を基に、徒歩で利用可能な範囲に身近な交通手段があり、基本的な生活サービスが確保された、歩いて暮らすことができる市街地環境づくりを目指したのである。

### 3 路面交通（LRT、BRT、バス）の技術と便益

## 交通システムにおける役割

図表8は、最近導入されたLRTとBRTの例である。近未来的な外観とともに、技術的、社会システマ的にいくつかの特徴を有している。基本的な役割としては、これまでの公共交

通機関に足りなかったものを補う、ということに合致した機関である。

図表 9 は、LRT と BRT の輸送能力についてまとめたものである。表定速度と最大輸送力の関係にお

いて、これまでは路線バスと新交通システム（モノレールなど）あるいは地下鉄の間が不連続であり、公共交通機関のネットワークとして電車と路線バスの組み合わせが主であった。一方、図表 10 に示したように、地下鉄の投入には 1km あたり約 170 ～ 300 億円、新交通システムでも約 70 ～ 150 億円の整備コストが必要であるため、建設に見合う乗降客数が見込めない規模の都市では、従来は路線バスの選択しかできなかった。最近の LRT と BRT は、評定速度では新交通システムに迫る速度、整備コストではモノレール（新交通システム）の 2 ～ 5 割であり、このようなトランスポーテーションギャップを補うものである。このような観点から、LRT と BRT は、

これからの「まちづくり」のための基幹ネットワークと位置づけられ、これらによって公共交通サービスの向上が期待されている。

### 3 - 2

#### 基本的な特徴と社会的便益

LRT には従来無かったいくつかの特徴があるが、特に低床化と IC カード式改札という新技術の搭載によってもたらされた社会的便益は大きい（図表 11）。

低床化は、駆動システム（車輪と車軸、モーターと歯車）の技術的革新によって実現できた（図表 12）。従来、左右の車軸を床下で連結し

てその軸をモーターで駆動していたのに対し、現在のシステムでは左右別々の車輪にモーターを直付け設置できたので、床下から車軸を撤去することができた。その結果、現在の LRT の床面の高さは、地面からおおよそ 30cm 前後である。この程度の段差であれば、停車駅のホームを建設するコストが廉価になるだけでなく、路面から停車駅のホームまでの経路が短く、乗降に時間がかからない。さらに、車両内に設置された IC カード式改札が導入されているため、車両から離れた改札を通過する必要も無く、車両へ乗るまでの手間がかからない。また、路面から停車駅のホームまでのスロープを非常に緩やかに、しかも狭いスパー

図表 8 日本(富山市)で導入されている LRT(左) および欧州(オランダ、Eindhoven 地域)で導入されている BRT(右)

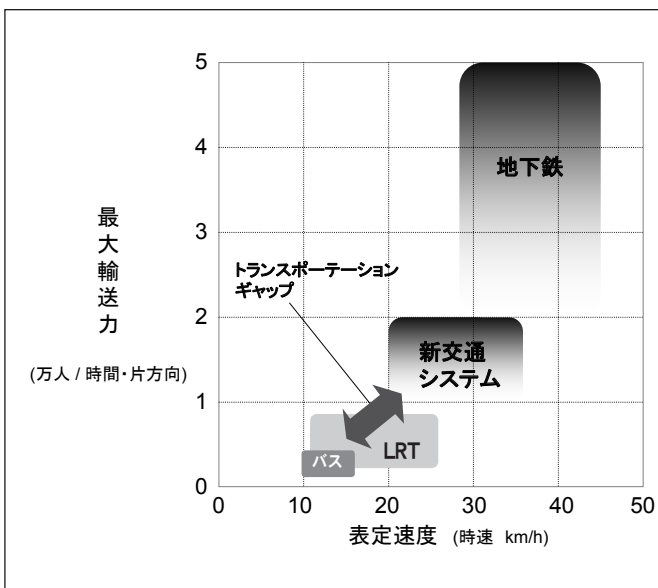


出典：参考文献<sup>8)</sup>



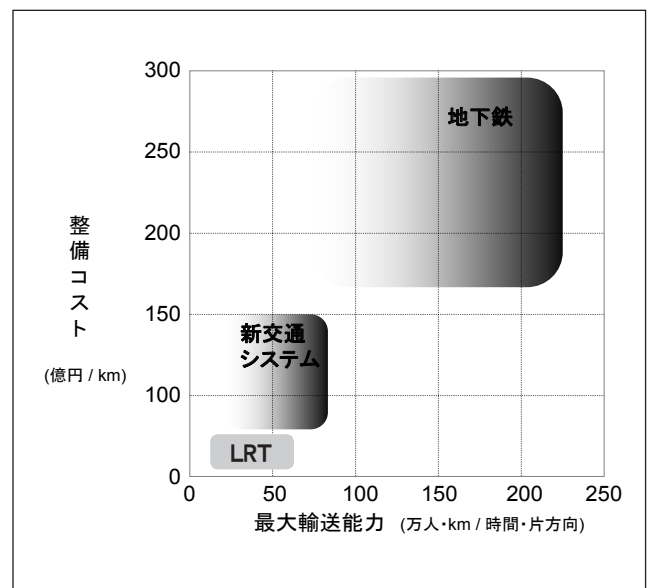
出典：参考文献<sup>9)</sup>

図表 9 公共交通機関の輸送能力



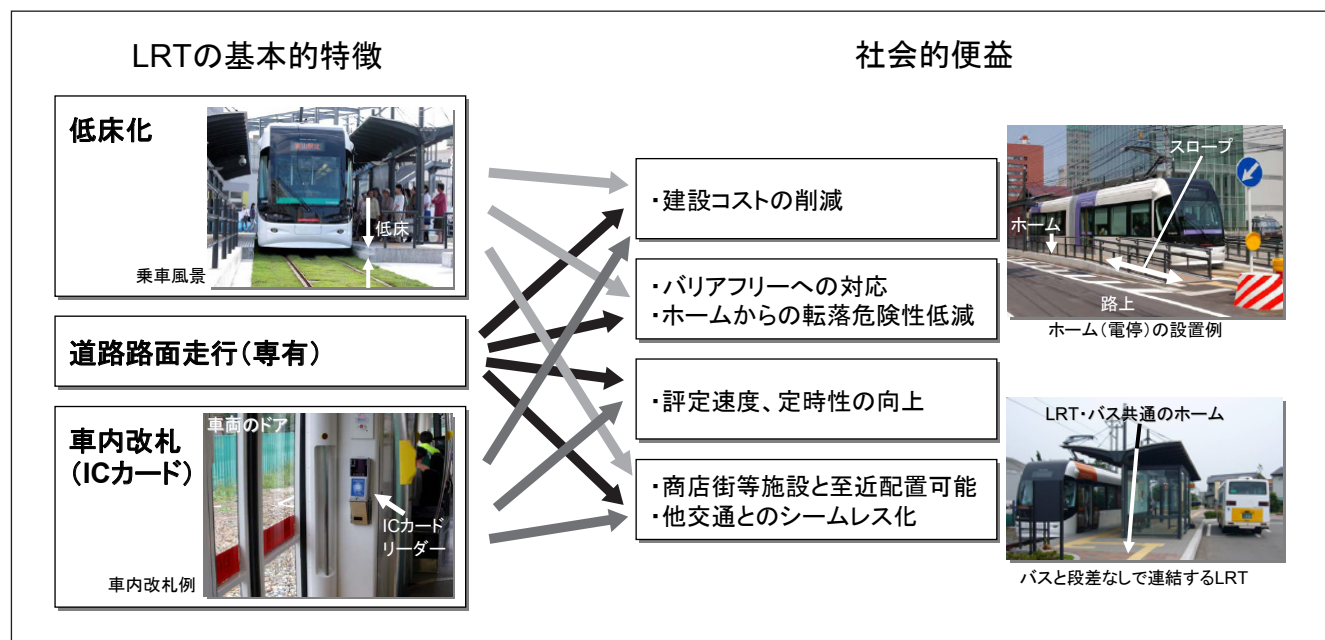
参考文献<sup>6)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表 10 公共交通機関の整備コスト



参考文献<sup>6)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

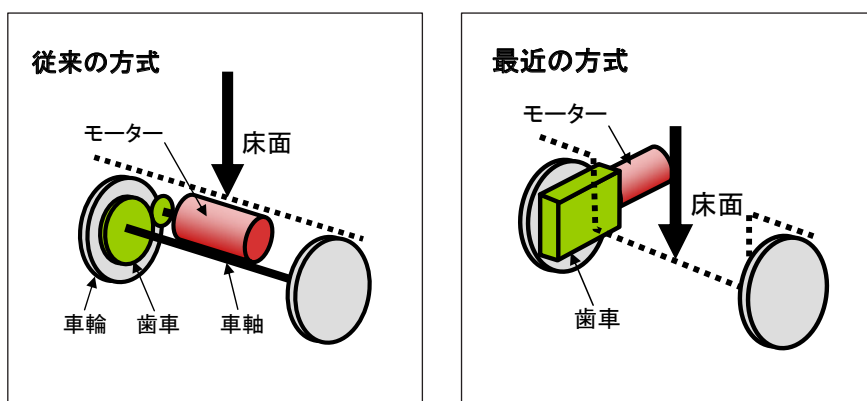
図表 11 LRT の特徴



参考文献<sup>10)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

スでも作ることが可能となるので、車椅子を利用する人や高齢者でも補助を必要とせず乗降が可能となる。さらに、LRTのホームとバスの停留所を同一の高さとすれば、LRTからバスまで段差のないシームレスな公共交通ネットワークができる。

図表 12 LRT の駆動システム例



参考文献<sup>11)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

### 3 - 3

## 路面交通機関 (LRT、BRT) の技術的特徴






最近投入されている LRT と BRT の技術的特徴について、動力源と操舵方式による構成の違いから分類し、整理した(図表 13)。LRT と BRT を駆動するための動力源は、電動モーターとエンジンの 2 種類である。電動モーター(図表 12)は主に LRT に使われている方式である。電源の供給方法によって、車両上方の空間に設けられた架線から供給する方式と、車両下側の路面に埋設された溝から供給する方式の 2 種類に分類される。架線式の場合には、架線自体を支持するための支柱や建物など何らかの支持物が必要となるが、路線沿いにすでに支持物があ

れば、設置は比較的容易である。しかしながら欧州では、このような人口的な支持物による景観破壊や歴史的建造物へのダメージを防ぐために、新たに設置される路線では路面埋設式が増えてきている。一方、エンジンは主に BRT に使われている方式である。操舵の方式は、軌道に沿って走り操舵の必要が無いものと、車輪によって転舵するものに分類される。また軌道は、左右各々の車輪が軌道に沿って走る 2 本式と、車両の中心付近に設置されたガイドに沿って走る 1 本式に分類される。1 本式はゴム製のタイヤで駆動される。軌道式の強みとしては、降雪地域でも除雪機によって比較的容易に

走行できるので安定した運用ができること、また、車両の揺れが少なく公共交通機関としてやさしい乗り物であること、などが挙げられる。

最近では、動力源として電動モーターとエンジンの組み合わせによるハイブリッド式の BRT も実用化されている。架線から給電される場所では電動モーターで走行し、環境に優しく、また、給電されない場所ではエンジンによって走行し、格段に走行範囲を伸ばせることになる。ただし、車両コストは高くつく。さらに、車輪を持ち転舵するものの中には、路面に印された白線や磁気マーカを検知・追従しながら自動転舵走行することによって、車両の停車時に停車

図表 13 路面交通機関（LRT、BRT）の分類

		動力源		操舵	
		原動機 (エネルギー種)	エネルギー供給方式		
LRT	電動モーター (電気)	架線 	路面埋設溝 	軌道(線路)	2本 
		1本(+両輪タイヤ) 			
BRT	エンジン (燃料)	燃料タンク		転舵(車輪)	
	ハイブリッド(電動モーター + エンジン)		自動転舵 (路面マーカ―追従) 		

参考文献<sup>6, 12)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

位置精度を高めて、乗降時の車両と停車駅ホームとの隙間を低減させる方式も実用化されている。

3 - 4

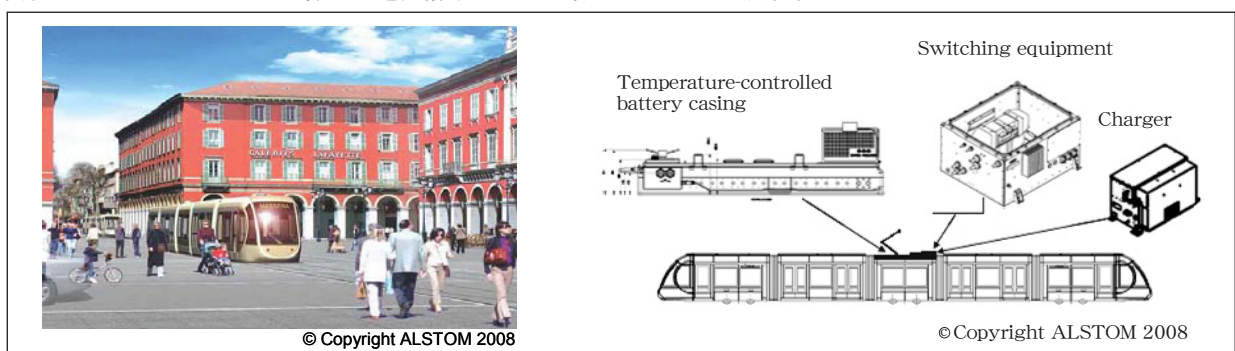
### 最新の技術動向

近年、LRT 向けの電池搭載技術に関して、顕著な進展が見られる。2007 年 12 月、フランス

のニース郡で、電池を搭載した LRT が登場した(図表 14)。主に架線による給電によって走行するが、1km 以内の短区間のみ(最大速度は時速 30km/h)では電池による走行も可能である。架線からの給電が無くても自走できるため、「まち」の歴史的遺産であるマセナ広場(Place Massena)やガリバルディ広場(Place Garibaldi)を傷つけることなく、また景観を損なうことなく、乗り入れすることが可能となった。

架線のない区間に入るとパンタグラフは下降し、架線のある区間に戻ると再び上昇して電池への充電が開始される。自走走行区間は 1km とまだ短い、観光や買い物で賑わう地域への公共交通サービス拡大と景観・歴史的遺産保全の両立に貢献することができ、社会的な意義は大きい。欧州においては、このような歴史的遺産を保有する観光都市が多いことから、今後投入される LRT に対しては、このよう

図表 14 フランス（ニース郡）の電池搭載 LRT の導入（ALSTOM ㈱社製）



出典：参考文献<sup>13)</sup>

図表 15 ニッケル水素電池搭載 LRT の実証試験 (川崎重工業(株) 社製)



項 目	諸 元
き電	直流 600V 架空線および車載電池
車両構造	3 車体 3 台車連節構造
全長	15m
床高さ	330mm (出入り口部)/360mm (客室部)
最小通路幅	800mm
定員	62 人 (座席定員 28 人を含む)
運転最高速度	40km/h
設計最高速度	50km/h
主回路方式	相誘導電動機 IGBT インバータ制御
駆動用電池形式	車載用ニッケル水素電池 (座席下搭載)
電池容量	274Ah
非電化区間可能走行距離	10km 以上 (一般的な線区にて)

出典：参考文献<sup>14)</sup>

図表 16 リチウムイオン電池搭載 LRT および給電システムの実証試験

((独) NEDO 技術開発機構からの委託業務により、(財) 鉄道総合技術研究所にて実施)



パンタグラフからの急速充電試験 (接触式)

項 目	諸 元
形式	LH02 形
軌間	1067mm
定員	44 人 (座席定員 20 人)
電源方式	架空電車：直流 1500V、600V バッテリー：直流 600V
空車質量	24.0t
最高速度	40km/h (軌道線) 70km/h (鉄道線)
車体寸法	12,900(長さ)×2,230(幅)×3,800mm(パンタ折り畳み高さ) 350mm (低床部床面高さ)
台車形式	コイルばねインダイレクトマウントボルスタ台車
ブレーキ形式	回生蓄電併用型電気指令式空気ブレーキ方式
主電動機	3 相誘導電動機 定格出力 60kw × 4 台
主電動機制御	VVVF インバーター 150kVA × 2 群
電池	600V - 120Ah リチウムイオン二次電池
電池・架線制御	電流可逆昇降圧チョッパ 600kW

出典：参考文献<sup>15)</sup>

な電池走行の要求がますます高まるものと思われる。

日本でも、電池を搭載した LRT の実証試験が始められている。図表 15 は、ニッケル水素電池を搭載した LRT の例である。5 分間の接触式の急速充電によって 10km の距離を電池だけで走行することを目指し、2007 年 11 月から試験がスタートした。また図表 16 は、リチウムイオン電池を搭載した LRT の例である。1000A では 40 秒間、500A では 3 分間の接触式急速充電できるようにすることを目指し、2007 年 10 月から試験がスタートしている。図表 15、16 のいずれも、冬季の厳しい使用環境下を含めた諸性能に関して実証データを蓄積している段階であり、早期の実用化

を目指している。

一方、バスの動力源を電動モーターにした電気自動車の車両に、非接触で充電する研究開発や実証試験もスタートしている。図表 17 は、電動モーターを搭載し低床化した小型バスで、車両の下側面に

非接触式の急速充電装置が搭載されているものである<sup>16)</sup>。停車中に、路面からの給電装置を使って電磁誘導により非接触で急速充電する使い方を想定している。この場合、送電効率 90% と損失の少ない性能が確認されている<sup>17)</sup>。また図表

図表 17 電動コミュニティバスの実証試験



先進電動コミュニティバスの試作機

路面に設置された給電装置

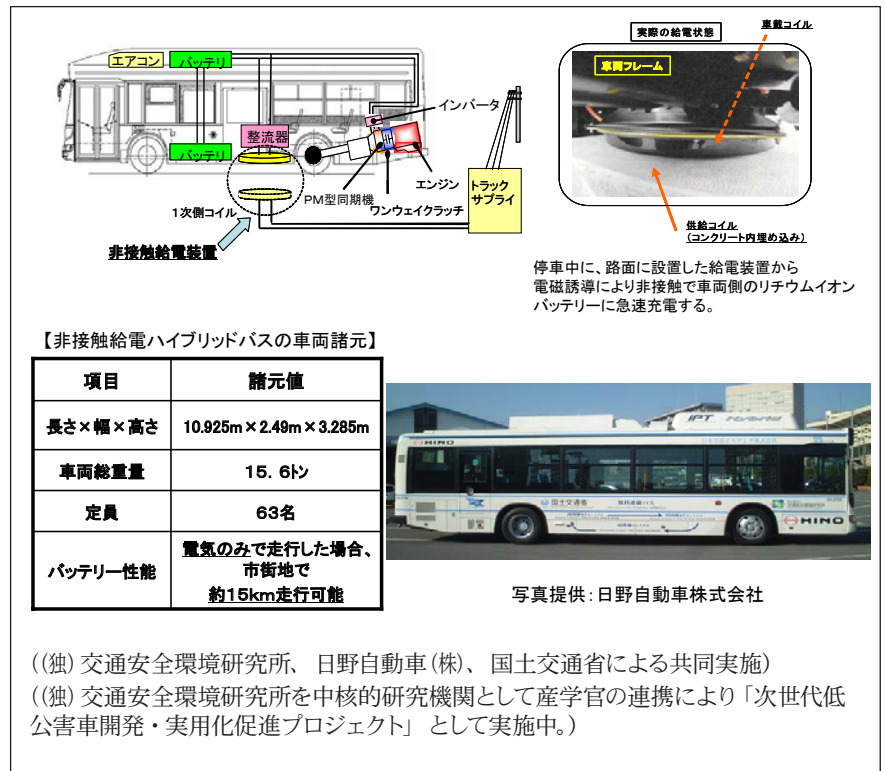
((独) NEDO 技術開発機構からの補助金により、早稲田大学、(独) 交通安全環境研究所、昭和飛行機工業(株) にて共同実施)

出典：参考文献<sup>16,17)</sup>

18は、大型のバス（ハイブリッド）に同様の非接触式の急速充電装置を搭載したもので、2008年2月から実証試験が開始されている。

このように、電池を搭載し給電を必要としない路面交通機関の実用化において日本は出遅れていたが、現在急速に進展中である。元々電池技術に強みを持っているので、実用化するには電池走行距離が大幅に伸びるものと期待される。また、非接触式の急速充電についても実用化試験が進められており、電池走行地域のさらなる拡張が期待できる。

図表 18 ハイブリッド（エンジン+電動）バスの実証試験



出典：参考文献<sup>18)</sup>

## 4 現状の評価と将来技術への期待

### 4 - 1

#### 我が国の現状と評価

##### (1) 利便性・ネットワーク拡張性

前章まで見てきたように、低床車両やICカード改札を搭載したLRTによって公共交通サービスとしての利便性が従来より向上している。例えば、2006年に富山市が実施したLRT利用に関する調査によると、特に60代以上の高齢者の利用割合が増え、LRT導入前との比較では平日で3.5倍、休日で7.4倍、利用者全体のうち、平日は30%、休日は43%を高齢者が占めており、高齢者からの支持が増えている<sup>19)</sup>。一方、LRTのホームとバスの停留所を同一の高さとしたシームレスな乗り継ぎが実現しているように、同じ路面を共有する複数の交通機関のネットワークは従来より拡張してい

る。今後、電動モーターや低床車両化などの技術が搭載された将来型の小型バスが普及すれば、この交通ネットワークがさらに「まち」の細部まで行き渡るであろう。

しかしながら、既存の鉄道との乗り継ぎについては、まだ十分に考えられてはいない。我が国の場合には、欧州諸国とは異なり、地上高くあるいは地下深くに駅舎やホームが位置するケースが多いためである。交通システム全体としての利便性やアクセスの容易性を高めるためには、長期の都市計画や「まちづくり」を議論する段階で、人々の移動を最短にする設計手法に移行することが不可欠である。

##### (2) 安全性

「まち」の中で自動車や歩行者の近傍をLRTが走行する場合に、このような状況に不慣れな日本では接触事故が増えるのではないかと懸念が出ており、実際にいくつか

の事故事例も報告されている<sup>20)</sup>。後方から近づいてくるLRTに気づかず、急に右折を始めた自動車が軌道上をふさいだまま停止し、そこへLRTが止まり切れずに接触する、というケースが多いようである。最近のLRTの道路に埋設される軌道は、振動と騒音を抑制するために一部が樹脂で形成されているが、自動車に乗っている場合にはその静かさが災いし、LRTの存在を気づかせ難くしている可能性がある。これは、LRTだけではなく、電動モーターで駆動するバスや自動車でも同様である。一方、LRTでは車両全体がカバーで覆われており、車輪が露出していない、という構造上の利点もあって、人との接触においては悲惨な巻き込み事故がこれまでは発生していないようである。このようなことから、現状においては「比較的安全な」公共交通機関として市民に受け入れられているものと考えられる。実

際に、欧州の都市では、人々で混雑した「まち」の中をLRTが接近しながら頻繁に走っている。しかし、将来的には、運転手の判断だけでなく何らかの技術的歯止めの開発が不可欠と思われる。

### (3) LRT 導入のための社会合意と実績

LRT 導入によって「まちづくり」の再構築に成功した事例は日本ではまだ少ない。しかし、今後は全国的に導入が計画されているようである。導入の動機としては、人口の拡散化、および高齢化に伴う将来の財政負担悪化を抑制することとともに、「まち」中心部の再活性化がある。これら解決のためには「まち」をコンパクトに構築し直すことが必須であり、LRT や BRT が基幹交通ネットワークとして位置づけられている理由である。富山市の例では、限られた財源を効率的かつ効果的に LRT 投資に活用していくために具体的な方策について様々な議論がなされた。富山市は“公設民営”を掲げ、コンパクトな「まちづくり」について、市民・企業・行政が協働で取り組むことを基本に、第三者組織による評価を吟味しながら、社会全体

の合意を形成した。事業について採算がとれるレベルまで乗客数が増加し、結果として自動車から公共交通機関へのモーダルシフトは約 12% であった<sup>10)</sup>。このモーダルシフトによる CO<sub>2</sub> 削減実績は、2006 年度 1 年間で 436t と算出された。このような経験が今後の日本の他の地域でのモデルとなつて、LRT 導入が進展していくことが期待される。

#### 4 - 2

### 社会ニーズから見た 将来技術の方向性

2007 年度にとりまとめられたイノベーション 25 戦略に資するため、科学技術政策研究所が設置した専門家パネルにおいて、「安全で持続可能な都市」をテーマに 2025 年の都市のあるべき将来像について議論がなされた<sup>21)</sup>。地球環境・エネルギー問題の深刻化、人口減少と拡散による都市の荒廃、自動車依存と交通事故増加、自然災害に対する都市のぜい弱性、という社会的背景に対して、コンパクトな都市、環境にやさしい都市交通、分散エネルギーシステム、災害の少

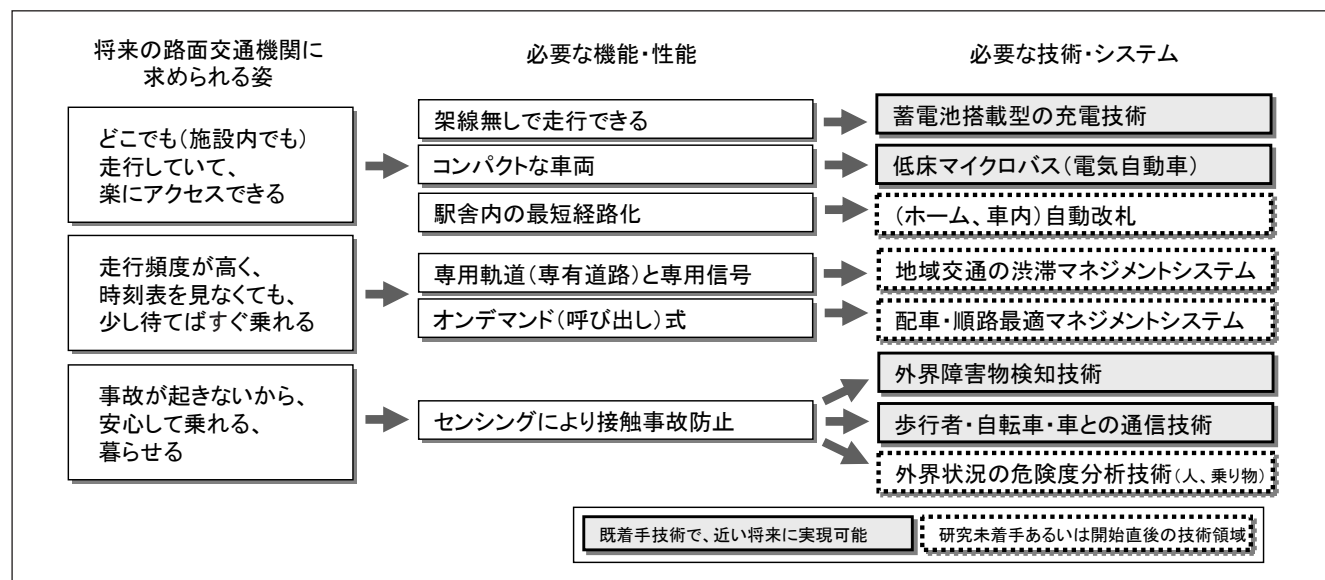
ない都市、の 4 つに関する方策が議論された。

このような議論を振り返り、併せて、4-1 も鑑み、将来の路面交通機関のあり方について改めて俯瞰すれば、望まれるものは、「安全で環境にやさしく、コンパクトで活気のある「まちづくり」に貢献する公共交通」であると言えることができる。図表 19 は、それらを具体的に記述したものである。ここでは、将来求められるその姿から必要な機能や性能を導き、さらに必要な技術・システムの方向性や要件についてまとめている。以下には、将来の路面交通機関に求められる姿を 3 つに分けて述べる。

#### (1) 「どこでも(施設内でも)走行して、楽にアクセスできる」

これは例えば、屋根が設置された商店街やショッピングモール、あるいは役所や病院等、人々が日常生活する上で必要な場所に、たとえ古くて狭い町並みであっても、必ずアクセスできるポイントがある、という姿を想定している。そのためには、架線がなくても走行できること、さらにコンパクトな車両であること、などが必要とされるが、基本的には現状の研究開

図表 19 将来の路面交通機関に求められる技術・システムの方向性



科学技術動向研究センターにて作成

発の延長線上に解決策はあるものと思われる。さらに、例えば自動車用電池の研究開発については国の施策としても加速させているので、ここで培ってきた技術を路面交通機関へも適応させることが好ましい。また、バスの電気自動車化も試みられているので、「まち」の中における将来の公共交通機関は排ガスゼロが基本であるとすれば、商店街でも病院でも路面交通機関を施設内に引き込むことは十分可能であると思われる。既存の鉄道との乗り継ぎに関して必ずしもアクセスが容易とは言えない我が国においては、駅舎内での改札方式から、ホームや車内に移動しただけで自動的に改札される方式を追求すべきであろう。これにより、不必要な移動を抑制し、利用者、特に高齢者にとって優しい乗り継ぎが可能となる。

## (2)「走行頻度が高く、時刻表を見なくても、少し待てばすぐ乗れる」

これは、待ち時間が苦にならない走行頻度をいかに確保するかということである。交通集中による渋滞

問題が顕在化している場合には、専用軌道や専用道路が不可欠となる。しかしながら、我が国においては、渋滞を緩和・解消するための乗り入れ規制、課金制度、あるいは走行目的別(配送荷下ろし、あるいは一般)による走行時間帯シェアリング等があまり導入されていないため、渋滞マネジメントに関する実践的なノウハウや手法の構築はまだ十分ではないと思われる。車依存社会を脱するための「まちづくり」について議論するには、今後、このような領域の研究開発が不可欠である。一方、公共交通機関の走行頻度を単純に高めようとすると、車両数を増やすなどの費用が余計にかかってしまう。無駄な費用を抑え、効率的な運用を図っていくためには、需要に応じた配車や最適順路を算出し、それらを場面に応じて策定していくことが求められる。前述の渋滞緩和策と合わせて検討する必要がある、これからの重要な研究開発領域となるであろう。

## (3)「事故が起きないから、安心して乗れる、暮らせる」

これは、路面交通機関と人・自

転車・自動車などが接触しない、という理想の姿である。そのためには、高精度のセンシングと人・物の認知に関わる技術が要求される。人を含めた外界障害物の検知技術に関しては、自動車産業のITS領域でかなりの技術構築がなされているので<sup>22)</sup>、これを路面交通の領域へ適応・融合させることによって、路面交通社会に特化した新たな技術領域開拓が期待できる。また、センシングによって知り得た情報を、人や乗り物が互いに存在を認知し、危険な状況なのかどうかの判断をつねに補佐する情報マネジメント技術が必要となる。さらに、その判断情報を人間が瞬時に齟齬なく理解するためには、脳科学や生体科学などヒトへの研究アプローチも必要である。切符となるICカードの高機能化や他の乗り物と通信・協調できる社会インフラの整備については、路面交通を導入している地域に限定して早期に実証試験を進めることで、有効な技術構築やノウハウ蓄積が推進できるものと考ええる。

# 5 まとめ

将来必要な技術およびシステムの方向性や要件には、大きく分けて、すでに着手済みで近い将来に実現可能な技術群と、研究としても未着手あるいは開始直後の技術群がある。社会として実現すべき優先度を決め、効率的にこれらの両方に取り組むことが望まれる。さらに、これら新技術利用によって新たな交通システムを普及していくためには、鉄道だけではなく車や自転車など他の交通機関との乗り継ぎ易さ、あるいは料金システムの簡素化など、社会システム全体としての価値を向上させるための研究や施策が不

可欠である。以上述べてきたように、利便性と社会的便益を高めるための技術開発を今後さらに推進することができれば、都市における自発的な公共交通へのモーダルシフトはより加速し、過度な車依存社会から脱することが可能になるものと考えられる。

## 謝 辞

本稿の執筆にあたり、持続可能な発展のための世界経済人会議(WBCSD)、富山ライトレール株式会社、Advanced Public Transport Systems BV、富山市都市整備部路

面電車推進室、ALSTOM 株式会社、川崎重工業株式会社、財団法人鉄道総合技術研究所、早稲田大学環境総合研究センター、昭和飛行機工業株式会社、には掲載資料をご提供いただきました。この場を借りて、関係の皆様へ厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) IPCC(気候変動に関する政府間パネル) 第4次評価報告書資料(2007年11月): <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-syr.htm>
- 2) OECD EST (Environmentally Sustainable Transport) ガイドライン

- 資料(2000年10月): <http://www.oecd.org/dataoecd/53/21/2346679.pdf>
- 3) WBCSD (The World Business Council for Sustainable Development) Mobility2030 資料(2004年): <http://www.wbcd.org/web/publications/mobility/2030full-jap.pdf>
- 4) OECD モーダルスプリット資料(2004年5月): <http://www.oecd.org/dataoecd/29/37/31661238.pdf>
- 5) 国土交通省 モーダルスプリット、国土交通省 交通政策審議会交通体系分科会第1回地域公共交通部会検討資料「公共交通の現状について」(2006年9月): <http://www.mlit.go.jp/singikai/koutusin/koutu/chiiki/1/03.pdf>
- 6) 国土交通省 都市・地域整備局 都市計画課 都市交通調査室 調査資料、まちづくりと一体となったLRT導入計画ガイダンス第1章(2005年10月): <http://www.mlit.go.jp/crd/tosiko/guidance/pdf/04section1.pdf>
- 7) 富山市資料、コンパクトなまちづくり事業調査研究報告(2004年3月): <http://www.city.toyama.toyama.jp/division/kikakukanri/kikakutyousei/buckup0405/compact.pdf>
- 8) 富山ライトレール(株)、ポータル: <http://www.t-lr.co.jp/outline/index2.html>
- 9) APTS 社ホームページ オランダにおけるプロジェクト資料 第一世代BRT: <http://www.apt-phileas.com/>
- 10) EST 創発セミナー、富山市都市整備部路面電車推進室発表資料「富山型コンパクトなまちづくりとESTモデル事業の取組み」(2007年11月): [http://www.estfukyu.jp/pdf/sohatsu\\_kyushu3.pdf](http://www.estfukyu.jp/pdf/sohatsu_kyushu3.pdf)
- 11) Bombardier 社、LRT の駆動用モータ資料: [http://www.bombardier.com/index.jsp?id=1\\_0&lang=en&file=en/1\\_0/1\\_1/1\\_1\\_1.jsp](http://www.bombardier.com/index.jsp?id=1_0&lang=en&file=en/1_0/1_1/1_1_1.jsp)
- 12) 国土交通省 都市・地域整備局 都市計画課 都市交通調査室 調査資料、まちづくりと一体となったLRT導入計画ガイダンス第3章(2005年10月): [http://www.mlit.go.jp/crd/tosiko/guidance/pdf/06section3\\_.pdf](http://www.mlit.go.jp/crd/tosiko/guidance/pdf/06section3_.pdf)
- 13) Alstom(株) 社、電池搭載 LRV 資料: [http://www.transport.alstom.com/home/elibrary/technical/environnement/\\_files/file\\_31289\\_30088.pdf](http://www.transport.alstom.com/home/elibrary/technical/environnement/_files/file_31289_30088.pdf)
- 14) 川崎重工ホームページ、ニュースリリース「低床電池駆動路面電車「SWIMO」が完成」: [http://www.khi.co.jp/khi\\_news/2007data/c3071119-1.htm](http://www.khi.co.jp/khi_news/2007data/c3071119-1.htm)
- 15) (財)鉄道総合技術研究所ホームページ、ニュースリリース「LRTに関する技術検討会」報告会を行いました」等: [http://www.rtri.or.jp/index\\_J.html](http://www.rtri.or.jp/index_J.html)
- 16) 早稲田大学環境総合センター、「先進コミュニティ交通システムの構築に関する包括的研究」: <http://www.waseda.jp/weri/cluster/contents/clus-senshin.html>
- 17) 昭和飛行機工業、製品カタログ「非接触給電システム」: [http://www.showa-aircraft.co.jp/products/EV/catalog\\_kyuuden.pdf](http://www.showa-aircraft.co.jp/products/EV/catalog_kyuuden.pdf)
- 18) 国土交通省ホームページ、羽田空港における非接触給電ハイブリッドバス運航に関する資料: [http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha08/09/090206\\_3\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha08/09/090206_3_.html)
- 19) 国土交通政策研究所、少子高齢化・人口減少時代に向けた地域交通事業者の取組事例集、「富山ライトレール株式会社」: [http://www.mlit.go.jp/pri/shiryu/pdf/jirei\\_r03.pdf](http://www.mlit.go.jp/pri/shiryu/pdf/jirei_r03.pdf)
- 20) 富山ライトレール(株)、安全報告書: <http://www.t-lr.co.jp/topics/safety/safety.pdf>
- 21) 文部科学省 科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター、NISTEP REPORT、No.101、「2025年に目指すべき社会の姿」、p.107(2007年3月)
- 22) 科学技術動向、No.66、2006年9月号、「ITSによる自動車の社会・環境負荷低減に向けて」

## 執筆者



藤本 博也

環境・エネルギーユニット  
科学技術動向研究センター  
特別研究員

<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>



工学博士。日産自動車にて、エンジン研究を経て研究企画・社会研究に従事。専門は機械工学。  
現在、環境・エネルギー分野で、将来ありたい社会を実現するための科学技術と政策に興味を持ち、調査研究を行っている。