

軌道系路面公共交通システムコスト構造の比較分析の試み*

Preliminary Comparative Analysis on Cost Structures of Guided Surface Transit Systems*

遠藤玲**

By Akira ENDO**

1. はじめに

コストの低廉な軌道系公共交通システムとしてLRTが注目され始めて相当の期間が経過するが、わが国においてLRT軌道を新規建設した事例はない。その原因としては、導入空間の制約、旅客運送事業としての採算性、バス路線再編の実施可能性等が挙げられる。そのうち、採算性に関しては、正確な需要予測や需要喚起方策の検討が必要であるが、一方では、コストに関わる要因として、現在進められている様々な技術開発の評価も必要である。これらの技術開発は、システムを構成する要素ごとに見ると、コスト増になるものもあり、需要特性との関係からは、必ずしもトータルコストの縮減にならない場合も考えられる。例えば、高性能のバッテリー搭載で架線・架線柱を不要とすることにより軌道コストを削減するシステムの開発では、車両コストがそれだけ高くなり、需要の多い路線やピーク集中率の高い路線では不利になるとも考えられる。

本研究は、現在開発が進んでいるいくつかのシステムを需要特性との関係で横断的に比較できる簡単な枠組みを提案し、仮想のコストにより比較を試みるものである。

2. コスト構造比較の枠組み

(1) モデル路線と基本的運行条件の設定

コスト構造比較のため、簡略化したモデル路線を設定する。複線で営業路線延長は6kmとし、郊外側端末に車両基地が設置されるものとする。運行は郊

*キーワード：公共交通計画、新交通システム計画

** 正員、金沢市役所

(〒920-8577 石川県金沢市広坂1-1-1, TEL:076-220-

2014, E-mail:endo_h_a@city.kanazawa.ishikawa.jp)

外側端末駅と都心端末駅との間を往復することとし、中間に5駅を設け、駅間隔は1kmとする。快速便は運行しない。走行空間は路面であり自動車との輻輳があるので、自動運転は行わない。

(2) 運行本数決定のルール

コストは運行本数の影響を受けるので、異なったコスト構造のシステムを比較するために社会的に受容される運行本数決定のルールを設定する。

a) オフピーク時の運行本数

始発から終電まで(19時間)、最低4本/時(片道)を確保し、それを超える本数については、需要に応じて増加させる。

b) ピーク時の運行本数

ピーク時間帯における最混雑区間乗客数(片道)を1編成最大許容乗客数(日変動を考慮し余裕を見込んだ数字)で除した値とする。

(3) 需要との関係度合によるコスト項目区分

需要が変化した場合のコスト変化はコスト項目により異なり、その点に着目して以下のように区分する。

a) 固定コスト

需要の変化に関わりなく一定のコストであり、単位需要あたりのコストは需要に反比例して低下する。固定コストとしては、軌道建設費、電力・通信設備設置費が該当する。

b) 全体的な需要レベルに応じて増加するコスト

(変動コスト(総需要))

運行コスト(運転士人件費、車両維持管理、動力費を含む)が該当し、オフピークの最低運行回数が決められていることから最低運行コストが需要に関わりなく必要で、需要が一定のレベルを超えると増大する。最低運行回数以上の運行回数は需要に応じ

て決まるので、上下方向別のバランスが需要の変化によって変わらなければ、単位需要あたりのコストは運行条件が一定である限り需要が増えるにつれて一定値に漸近する。

c) ピーク時の需要に応じて決まるコスト（変動コスト（ピーク需要））

車両費、車両基地建設費及び車両の定期保守点検関係のコストが該当する。

必要車両数はピーク時間帯の1運行サイクル時間における最混雑区間乗客数（片道）を1編成最大許容乗客数（変動を考慮し余裕を見込んだ数字）で除した値を切り上げ、予備車両数を加えた数となる。需要が増大してもピーク時最混雑区間乗客数の1日全乗客数に対する比率が変化しないとすると、ピーク需要は全需要に比例するから、需要が極端に低い場合を除き、単位需要あたりの車両数は需要に関わらず一定レベルとなる。ただし、車両数は整数値しかとらないため、車両関係の全体コストと単位需要当りコストは不連続となる。

3. LRTコスト構造の分析

過年度のLRTコスト試算結果^{4) 5)}に基づき、単位需要あたりのコストがどのように変化するか、上記の3区分により開業初年度のコストを分析した。

モデル路線が6kmの短路線であることから均一料金が適用される可能性が高いので、料金との比較を考え、単位需要としては、1乗車を単位とした。LRT需要が変化するときには競合交通機関との機関分担が変化しているのでLRT乗客のODパターンは微妙に変化するが、今回の分析ではその変化は大きくないものと考え捨象した。

（1）コスト算定の条件

コスト単価は最近の試算結果を使用し、公的支援については平成16年度までの制度に基づいて試算した。LRT事業者に対する補助は借入金を減少させ、金利負担を減少させるが、軌道等の施設や車両は事業者が資産として保有するため、減価償却費は資産価額に対して計上した。減価償却は定額法で残存価値なし、耐用年数は軌道等の施設については30年、車両は20年とした。公租公課は計上して

表－1 コスト区分別単位需要コストの試算

単位需要当りコスト (円)	運行速度 12 km/h	需要（人／日）	5900	6900	7800	8800	9800
		固定コスト	41.5	35.5	31.4	27.8	25.0
		変動コスト（総需要）	102.5	91.8	84.9	78.5	73.5
		変動コスト（ピーク需要）	50.8	48.8	48.0	46.8	45.8
		支払い利息	46.8	41.8	38.6	35.6	33.3
		総コスト	241.6	218	202.9	188.8	177.6
	運行速度 24 km/h	需要（人／日）	7100	8200	9300	10700	12000
		固定コスト	34.5	29.8	26.3	22.9	20.4
		変動コスト（総需要）	70.0	63.2	58.1	54.5	50.4
		変動コスト（ピーク需要）	31.6	32.0	32.2	31.5	31.2
		支払い利息	35.4	32.2	29.7	27.0	25.1
		総コスト	171.5	157.2	146.3	135.8	127.1

いない。借入金は事業者負担分事業費の80%、年利3%、20年後に元本一括返済とし、コストには金利のみを算入している。

LRTのサービス水準としては、運行速度を12km/hと24km/hの2種類設定して試算した。

（2）コスト3区分のバランス

3区分のコストと支払い金利を試算した結果は表－1の通りである。変動コスト（ピーク需要）が運行コスト（変動コスト（総需要））に次いで大きく、固定コストも運行コストの3割から5割となっており重要である。運行速度が高いケースでは変動コストが固定コストに比べ相対的に低くなっている。支払い金利は固定コスト分と変動コスト（ピーク需要）分の借り入れに対する金利である。

（3）新しい支援スキームによるコスト構造変化

平成17年度から国による新たな支援スキームが始まったが、詳細に立ち入ることを避け、車両以外のすべての投資に対しても国と地方合わせて1/2の補助が事業者に対してなされるという仮定で試算すると、事業者が保有する資産に変化がないことから減価償却費には変化がなく、金利負担が軽減されるだけである。事業者にとっては借入金が増加しバランスシートが改善しリスクが減るので事業化に取り組みやすく、また、将来の需要減少リスクに対しても余裕が持てるが、開業時のコスト軽減にはそれほど寄与しないと言える。

4. 新技術のコスト構造への影響

(1) 新技術の分類

現在開発中のシステム（一部、海外では既に実用化されている）の技術をコスト構造への影響に着目して大別すると、以下のように分類できる。

- a) 架線レストラム：車両に高性能のバッテリーを搭載し駅での停車時と車両基地で充電して運行するか、あるいは燃料電池を動力源とすることにより、現在と同等の運動性能と排気ガスなしのクリーンな運行を保ちながら架線、架線柱等を不要とするもの
- b) ゴムタイヤトラム：ゴムタイヤを使用することにより荷重を支えるレールを不要とし、レールは案内のみの役割とするもので、カーブでの必要強度低減等とあいまってレール敷設コストと軌道路盤コストを削減するもの
- c) 非接触案内技術：路面に設置した磁気的あるいは光学的なマーキングを読み取って車両を案内することにより、物理的な案内の機能を果たすレールを不要とし、その結果ゴムタイヤでフィーダー路線の一般道路と幹線を乗り換えなしで運行できるもの
- d) 隊列運行技術：車車間通信により幹線区間では隊列を組んで運行し、2両目以降の運転士を不要とすることで運転士の人件費削減が可能となるもの

(2) コスト構造への直接的影響と意義

a) 架線レストラム

基本的に現在の路面電車車両の設計思想で動力系を変更するものである。バッテリー搭載の場合、充電電圧は高圧ではないと考えられ、専用の変電施設は不要と考えられるので、架線・架線柱・変電施設のコストが削減され、そのかわり、車両基地と駅部での充電施設のコストが必要となる。車両コストはバッテリー等の機能が付加される分だけ高くなる。

架線・架線柱・変電施設のコストは初期投資のほぼ1/4であるが、車両コストは減価償却費全体の3割を占める。夏季の冷房対応の必要性なども考えると車両がかなり高価なものになることも考えられ、コスト削減が可能かどうかは不透明である。需要が少なく、電力施設の負担が重荷になる場合や景観的な配慮が必要な場合には検討に値すると考えられる。

b) ゴムタイヤトラム

車両は連接バスがベースとなっているものとトラムがベースになっているものがある。技術的トラブルもあり、正確な評価は難しいが、車両コストは通常の車両と同じかむしろ安くなり、軌道コストが縮減されることから全体ではコスト縮減となると考えられる。

c) 非接触案内技術

光学式、磁気式とも、車両はバスをベースにしている。海外で開発された光学式システムは連接バスをベースとしており、コスト的にも連接バスとそれほど変わらないものと考えられる。磁気式システムは国内で開発されたもので、上記のd)の機能を併せ持っており、連接バスではないが車両は通常のバスよりも相当高いものと考えられる。しかしながら、許容最大乗客数一人当たりのバスとLRTのコストを比較すると大きな開きがあり、上記d)の機能を含めてもLRTの車両と比較すると大差ないと考えられる。軌道部分のコストは、路面のペイント、または、磁気マーカーとループアンテナだけであり、大幅なコスト削減になる。

d) 隊列運行技術

隊列運行により、幹線部分の運行コストが削減できる。しかしながら、需要が同じであれば、隊列運行すると運行頻度が減少することになり現実的でない。この技術については、以下で需要喚起効果と併せて検討する。

(3) 需要喚起効果と併せたコスト構造への影響

ゴムタイヤで、かつ電力供給に依存しないで長距離走行できるシステムであればフィーダーと幹線を乗り継ぎなしで運行できる。サービスエリアを拡大して乗客を増やすことはできるが、逆に、フィーダーを運行した車両がそのまま幹線を運行することになり、幹線区間の運行本数が増え運行コストが増加する。逆に、先に述べた運行本数のルールで幹線区間の運行本数を決めると、フィーダー区間の運行本数が最低運行本数を下回り、フィーダーとしての魅力が減少する。フィーダーの運行本数を確保しながら、幹線の運行本数と運行コストを抑える技術が隊列運行である。以下では、フィーダーの運行本数を最低運行本数とした場合に隊列走行を導入した場合としない場合のコスト比較を行う。

a) 前提条件

6kmの幹線路線の中間点から1.5kmのフィーダー路線を2方向に設定した。幹線路線の運行速度は24km/h、フィーダー路線の運行速度は12km/hとする。幹線もフィーダー経由の路線も車両のサイクル時間は同じとする。

b) 需要の増加

過年度の試算では幹線路線の郊外側3駅を利用する乗客数が全乗客数の約半分であることから、フィーダー路線の長さを考慮し、フィーダー路線1路線で幹線路線全乗客数の1/4を集客すると仮定し、2路線で乗客数が1/2増加すると仮定する。

c) 必要車両数と車両関連コスト

ピーク時最混雑区間対応の必要車両数は需要に比例するので、1.5倍となる。一方、オフピークで4本/時の最低運行本数を確保するにはサイクルタイムが40分であるから、1路線当り3両、3路線で9両必要である。今回試算のケースではピーク対応必要車両数がオフピーク必要車両数以上であり、車両関連コストは単純に1.5倍となる。ただし、一般道路を走行でき、バス車庫のような形式で駐車できるため、車両基地コストは大幅に低減される。

d) 運行本数と運行コスト

隊列運行をしない場合は12本/時以上の運行となり、12km/hの区間は600円/km、24km/hの区間は450円/kmとして算定した。隊列運行をする場合は幹線部分の運行頻度はフィーダー路線がない場合と変化しないものとし、フィーダー区間の運行コストのみを計上した。フィーダー区間の需要は最低運行頻度の輸送力を超えないものと想定した。

e) 軌道、電力・通信施設、車両単価

単純化のため、レールなどの軌道施設、架線・架線柱・変電施設、通信施設は必要ないものとし、車両単価はLRTと同じとした。

f) 試算結果と評価

試算結果は表-2、表-3のとおりである。表-1と比較すると、軌道部分の投資が必要ない分、固定コストと支払利息が減少し、コストが低くなっている。大胆な仮定をしているため、割り引いて考える必要があるが、非接触案内方式でレールや電気設備が不要なゴムタイヤ式のシステムは検討に値すると思われる。また、隊列運行により運行コストが

表-2 フィーダー運行時のコスト構造

単位需要当りコスト (円) ゴムタイヤ方式、フィーダーと直通、隊列運行なし

需要 (人/日)	10650	12300	13950	16050	18000
固定コスト	0	0	0	0	0
変動コスト (総需要)	102.8	91.6	83.1	76.3	69.8
変動コスト (ピーク需要)	27.5	27.8	28.0	27.4	27.1
支払い利息	5.6	5.6	5.7	5.5	5.5
総コスト	135.8	125.0	116.8	109.2	102.4

表-3 隊列運行によるコスト削減

単位需要当りコスト (円) ゴムタイヤ方式、フィーダーと直通、隊列運行あり

需要 (人/日)	10650	12300	13950	16050	18000
固定コスト	0	0	0	0	0
変動コスト (総需要)	80.5	72.3	66.1	61.5	56.6
変動コスト (ピーク需要)	27.5	27.8	28.0	27.4	27.1
支払い利息	5.6	5.6	5.7	5.5	5.5
総コスト	113.5	105.7	99.7	94.4	89.2

削減できるが、本分析では捨象した隊列運行を可能にするための装置を搭載することによる車両価格上昇と運行コスト削減との関係を精査する必要がある。

5. まとめと今後の課題

コストを基本的に3区分してシステムの諸元と対応付けることにより、コスト構造比較の考え方を提示することができた。今後は、コスト数値の信頼性を高めるとともに、より複雑な路線や運行システムにも適用できるような検討を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 日本開発銀行：LRTと路面電車の活性化について、1998.3
- 2) 日本政策投資銀行地域企画部：LRTと路面電車の現状について、地域企画ノート、2000.9
- 3) 石田ほか：交通機関の競合を考慮した公共交通の成立性に関する基礎的研究、土木計画学研究・講演集 No.21(1), 1998.11
- 4) 遠藤玲、竹田敏昭、古賀一人：サービス水準変化がLRTの事業性に与える影響に関する研究、土木計画学研究・講演集 No.28, 309, 2003.
- 5) 遠藤玲、竹田敏昭、古賀一人：人口密度と表定速度がLRTの事業性に与える影響に関する研究、土木計画学研究・講演集 No.30, 322, 2004.