

省エネ型都市交通システム「エコライド」

東京大学生産技術研究所 須田 義大, 山口 大助
泉陽興業株式会社 表 久紀, 金山 泰雄, 関口 明浩

1. はじめに

この四半世紀の間、モータリゼーションの発展に伴い、我が国では多くの人口を抱える大都市を除いて、公共交通の衰退が社会問題となってきた。軌道系の公共交通システムは高額な建設費のため、経営上の課題も抱えている。

一方、近年、地球温暖化対策の機運が高まり、単位人・単位 km を移動するにあたり、自動車に比べて 1/9 の二酸化炭素排出量である鉄道に再び注目が集まっている。欧米やアジア諸国においては、都市間高速鉄道や LRT などの軌道系の都市交通システムの建設が積極的に行われてきている。自動車中心の都市構造では、中心市街地の空洞化を招き、公共インフラの維持の高コスト化が問題視されている。高齢化が急速に進んだ我が国においては、中心市街地に住民を集め、便利で住み良いコンパクトな街づくりが望まれてきている。そのため、中心市街地内で短距離輸送を実現し、持続的に経営できる安価な公共交通システムが待ち望まれるようになってきた。

本稿で紹介する「エコライド」は現在開発中の新しい省エネルギー型交通システムで、上に述べた課題に応える乗り物である。

2. 「エコライド」の原理と特徴

エコライドの原理は位置エネルギーを運動エネルギーに転換して走行することにある¹⁾。

図 1 に振り子の原理を示す。あらかじめ A 点まで持ち上げられた質点は、最下点の B 点では位置エネルギーが運動エネルギーに転換されて

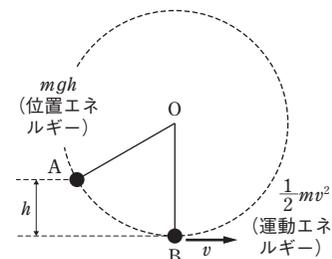


図 1 振り子の原理

速度を持つ。この原理を応用した身近な乗り物が遊園地のジェットコースターである。ジェットコースターは最初、チェーンワイヤーロープにより車両

が高所まで引き上げられ、以後、線路を下ることで加速して走行する。ジェットコースターの車両は走行のための動力やブレーキを持たず、レールの勾配とレール側に取り付けられた巻き上げ機やブレーキによって全ての走行・停止が行われる。この車両の駆動・停止方法を専門家の間では「地上一次」と呼ぶ。

エコライドはジェットコースターを公共交通システムとしてスケールアップした「地上一次」の乗り物である。

エコライドが位置エネルギーを使ってビル街を走行する時の模式図を図 2 に示す。

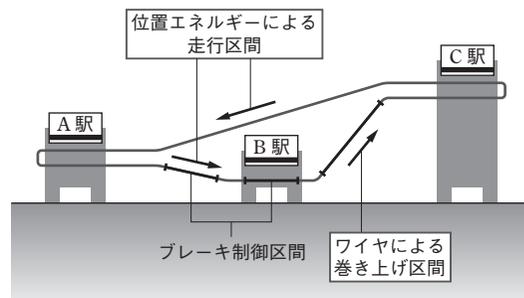


図 2 エコライド走行模式図

ここで、エコライドの基本となっているジェットコースターの技術を紹介する。

2-1. ジェットコースターの原理と線路設計

一般的に、ジェットコースターの車両自体には動力などは一切なく、高いところへ引き上げられた位置エネルギーを運動エネルギーに転換することで走行する。

いま、図 3 において A 点での高さを h_1 、B 点での高さを h_2 とすると、B 点での走行速度 v はエネルギー保存の法則より

$$v^2 = 2g(h_1 - h_2) \quad (1)$$

で求められる。実際には、走行時のレールと車輪と

の走行抵抗、走行時の風圧抵抗など、車両は様々な抵抗を受ける。これらの抵抗を考慮して速度を求めるために、コースター設計では一般的に式(2)を用いている。しかしながら、摩擦係数や空気密度が温度・気候等によって変化し、さらに非線形な要素を含むほか、車両重量は乗客数によって大きく変動することなど、計算式には考慮されていない点も多くあり、これまでの経験則で補いながら設計している。

$$V_n^2 + 2gH = V_{n+1}^2 + \left\{ 2\mu g \cos \theta + \left(\pm \frac{2\mu}{R} + \frac{C_D A \rho}{M} \right) V_m^2 \right\} S \quad (2)$$

ここで

V_n [m/s]	: n 点での速度
V_{n+1} [m/s]	: $n+1$ 点での速度
V_m [m/s]	: n 点と $n+1$ 点間の平均速度
$V_m = \frac{V_{n+1} + V_n}{2}$	
H [m]	: n 点と $n+1$ 点間の高度差
R [m]	: n 点と $n+1$ 点間軌道の曲率半径
S [m]	: n 点と $n+1$ 点間の線路長
θ [deg]	: n 点と $n+1$ 点間の傾斜角
μ	: 動摩擦係数
ρ [kg/m ³]	: 空気密度
C_D	: 空気抗力係数
A [m ²]	: 車両の前方投影断面積
M [kg]	: 車両重量
g [m/s ²]	: 重力加速度の大きさ

ジェットコースターの設計にあたっては、駅を发车して元の駅に戻ってくるためのエネルギー保存則を考慮しつつ、乗客が楽しめるよう線路の各部における速度と加速度を工夫している。

2-2. ジェットコースターの構成要素

標準的なジェットコースターは次の機械要素を組み合わせて構成される。

(1) 車両

車両は、客席部とボデーフレーム、車輪・車軸構造からなる。車輪は鋼管レールを 3 方向から抱え込む構造をしている(図 4)。また下部フレームにはブレーキフィン(図 5)、巻き上げ時のフックと逆走防止機構がある。

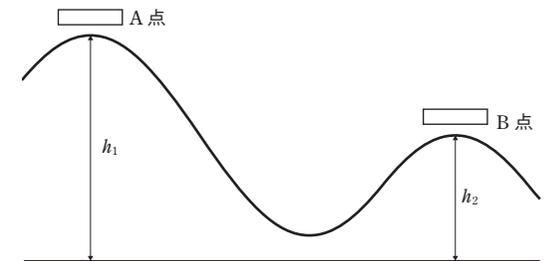


図 3 エネルギー保存の法則とコースター



図 4 コースター車両の車輪構造

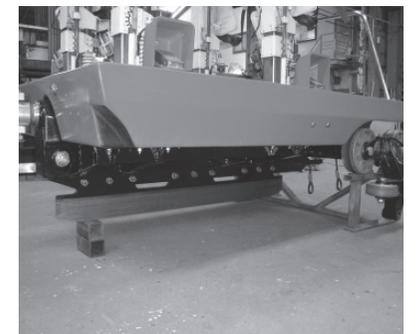


図 5 ボデーフレーム下にあるブレーキフィン

(2) 移送装置

通常、ジェットコースターは駅でのブレーキを解放してから線路の勾配に従い自然に発進する。移送装置(図 6)は駅出発側にあり、ゴムタイヤがブレーキフィンを両側から挟みこんで台車を進行方向に駆動させる仕組みで、補助的に台車の送り出しと次の巻上装置に速度を同調させることを目的としている。



図6 移送装置

(3) 巻上装置

巻上装置はチェーンやワイヤーロープを車両側のフックに引っ掛け、電動機・減速機により車両を巻上頂部まで引き上げる。その後、フックから外れ、車両はコースへと送り出される。

(4) ブレーキ装置

コース上を走行してきた車両が駅で停止するよう、ブレーキ装置は車両の持つ運動エネルギーを減少させ、熱エネルギーとして放散させる。代表的なブレーキ装置は線路の中央に配置され、ボデーフレーム下部のブレーキフィンにブレーキライニングで挟み込む構造をしている(図7)。



図7 エアブレーキ装置

(5) ブロック制御(閉塞区間制御)

複数の編成が同一のコースを走行する場合、編成同士が衝突しないよう、コースを巻上装置、ブレーキゾーンの前後で数箇所のブロックに分け、各ブロックには1編成のみ入れるように制御する。

2-3. ジェットコースター技術のエコライドへの活用

エコライドはジェットコースターを公共交通システムとしてスケールアップした乗り物で、構成要素

と機器はジェットコースターとほぼ同じであるが、使用目的が異なるため、設計の考え方が大きく変わる。表1にハイスペックの大型ジェットコースターとエコライドの設計諸元を比較する。

表1 代表的な設計諸元の比較

	コースター	エコライド
軌間	0.8~1.2m	1.5m
車両重量/台	1ton	2.5ton
台車緩衝機構	2次バネ無し	2次バネあり
巻上角度	20~35°	8~14°
軌道勾配	最大180°	最大8°
最大走行速度	100km/h超	45km/h
許容加速度(上下)	-1~6G	最大1.5G
許容加速度(左右)	最大1.0G	最大0.2G
許容加速度(前後)	最大1.0G	最大0.1G
外気温対策	常温	寒冷~高温
降雪・雨天時	運転休止	通常運転
衝突防止制御	2重以上	3重以上

表1からエコライドの開発課題を列挙すると以下の通りである。

- (1) 巻上角度、軌道勾配、走行速度、許容加速度等の数値から、エコライドはコースターと比べて低速走行となり、台車や軌道構造は既存技術をそのまま適用しても十分安全である
- (2) エコライドの許容加速度は小さいため、ジェットコースターと同一の線路設計、減速制御方法、車体防振方式では不十分である。
- (3) 公共交通では常時運行が前提であるため、気温・天候・風等の自然条件の変動への順応性が広く求められる。

3. 公共交通システムとしてのエコライドの利点

3-1. 省エネルギー性

車両に駆動装置を持たない交通システムにはケーブルカーやロープウェイ等があるが、その利点は車両自身を大幅に軽量化できることにある。

重さ M のものを X 地点から Y 地点に移動させるときの仕事量 W は、 $X \sim Y$ 間の距離を L 、高低差を H とすると、

$$W = \mu ML + MH \quad (3)$$

μ : 走行抵抗係数(但し非線形)

となる。ここで、車両の重さ M を考えると、式(3)より車両の軽量化が省エネルギーにつながることを容易に理解できる。通常の鉄道車両は極端に軽量化すると、地震や横風に対して弱くなり、横転する可能性がある。これに対して、エコライドはジェットコースターと同じように鋼管レールを3方向から抱え込む構造としているので、脱線の危険性は非常に小さい。

3-2. 低廉な建設費

車両の軽量化には別の利点もある。それは車両を支えるレールの下部構造を小さく軽く造れることである。線路を高架構造にすると、基礎や土木工事の費用は全工事費の半分以上を占めるだけに、車両の軽量化は建設費全体の低コスト化につながる。

ここで、消費エネルギー及び建設費についてエコライドと他の交通システムを比較したものを図8と図9に示す²⁾。

図8よりエコライドの消費エネルギーは226.8kJ/人キロ、CO₂排出量は9g-CO₂/人キロで、鉄道の1/2、バスの1/5となっている。

一方、図9よりエコライドの建設費は1kmあたり15~25億円で、ミニ地下鉄の約1/10、モノレール・新交通システムの約1/5となっている。

3-3. 敷設の容易さ

エコライドは小型であるため、道路の中央分離帯や歩道上に敷設でき、交差点でも既存道路を拡幅せずに曲ることができる。

- 実用時のエコライドの標準的な仕様を次に示す。
- ・路線長: 10km(最長)
 - ・輸送能力: 2,000~2,500人/h
 - ・定員: 12名/車両, 2両~7両連結1編成
 - ・運転方式: 無人運転
 - ・最小曲線半径: 15m

4. おわりに

本稿では遊園地にあるジェットコースターの技術を活用した新しい概念の公共交通システムである「エコライド」を紹介した。現在、東京大学生産技術研究所千葉実験所の構内に敷設した実験線と試験車両(図10)によりエコライドの基本性能を検証している。今後は更に研究・開発を進め、低炭素社会における便利で快適な公共交通システム「エコライド」の実現を目指す。

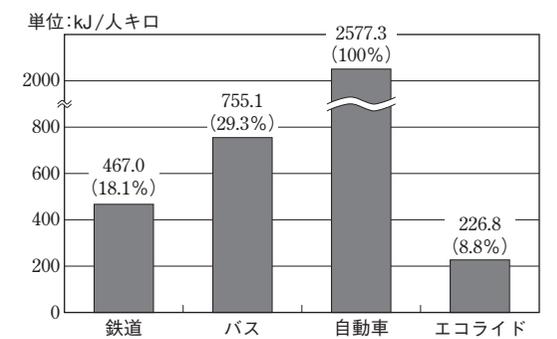


図8 輸送に要するエネルギー量の比較

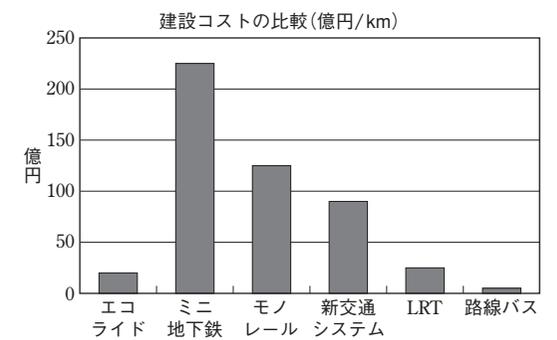


図9 建設費の比較



図10 実験線と試験車両

本研究開発は独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)及び経済産業省のご支援の下で進められました。関係各位に深謝申し上げます。

参考文献

- 1) 須田義大・表久紀, 省エネ型都市交通システム「エコライド」, 日本機械学会誌 2010年3月号, Vol.113, No.1096, p.203.
- 2) 関口明浩・金山泰雄・表久紀・須田義大・山口大助, 省エネ型都市交通システム「エコライド」の開発, 第11回運動と振動の制御シンポジウム講演論文集, pp.370-374.