

2704 省エネ型都市交通システム「エコライド」に関する研究

○正 [機] 山口 大助 (東大生研) フェロー [機] 須田 義大 (東大生研)

表 久紀 (泉陽機工) 金山 泰雄 (泉陽機工) 関口 明浩 (泉陽機工)

Study on Energy Saving Urban Transportation System "Eco-Ride"

Daisuke YAMAGUCHI, Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo

Yoshihiro SUDA, Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

Hisanori OMOTE, Senyo Kiko Co., Ltd.

Yasuo KANAYAMA, Senyo Kiko Co., Ltd.

Akihiro SEKIGUCHI, Senyo Kiko Co., Ltd.

To solve various traffic issues existing in urban area, the high energy-saving new public transportation system called the Eco-Ride has been developed. Merits of the Eco-Ride are low initial cost and high flexibility to install. The Eco-Ride vehicle that does not have on-board driving devices runs using potential energy. The priority part of the Eco-Ride development is to develop light-weight, safety and durability vehicles. The test track of about 100 meters in total length was constructed to execute various experiments such as speed measurement and acceleration measurement. The analysis of ride comfort on the Eco-Ride was performed through results of acceleration measurement. The detail of the Eco-Ride and results of the analysis on ride comfort are described in this paper.

Keywords : Public Urban Transportation, Roller Coaster, Potential Energy, Acceleration Measurement, Ride Comfort

1. 緒言

都市の公共交通には鉄道、地下鉄、モノレール、新交通システム、路面電車・LRT (Light Rail Transit: 次世代型路面電車システム)、路線バスなどがあり、輸送力に応じた使い分けと機能の分担が図られている。しかしながら、特に都市圏において、徒歩で移動するには距離が長く、新交通システムなどを敷設するには短いというケースが多く見られる。このようなケースでは自家用車やバスに依存しているのが現状である。

一方、近年、環境問題への関心の高まりから地球温暖化防止対策や二酸化炭素排出量削減が謳われている。我が国の運輸部門における2007年度の二酸化炭素排出量は2億4900万トンで総排出量の約2割を占めており、2020年までに二酸化炭素排出量25%削減の目標を達成するためにも運輸部門の削減は必要不可欠である。

鉄道など専用軌道系の公共交通を導入したいが、建設費や敷設スペースの問題が生じて導入の難しい地域が数多く見られる。また導入する交通システムは環境への低負荷を実現するものが望ましい。このような都市交通事情や環境問題を背景に、省エネ性、低建設コストに優れ、敷設場所の自由度が高い都市交通システム「エコライド」を開発した。

エコライドは動力を持たない車両を軌道の高いところまで持ち上げ、高低差を利用して走行させるジェットコースターの原理によるもので、位置エネルギーを積極的に活用する従来にない新しい概念の公共交通システムである。

本稿では初めにエコライドシステムのコンセプトと特徴について述べる。次に基本性能を確認するために敷設した第1次実験線の概要と試作車両が実験線を走行したときの振動加速度の計測結果から試みた乗り心地評価について述べる。

2. エコライドシステム

2.1 エコライドのコンセプトと路線概念

エコライドは先述した都市交通事情と環境問題の解決を図るため、以下のコンセプトで開発された⁽¹⁾。

- (1) 近距離アクセスに特化
- (2) 軽量車両による高い省エネ性
- (3) 鉄道などの大量輸送とマイクロバスなどの少量局地輸送との中間的な輸送能力
- (4) 目標総建設費はモノレールや新交通システムの1/5
- (5) 新交通システムなどでは対応が難しい急斜地や狭い空間への敷設が可能

次にエコライドの特色である位置エネルギーを活用するための路線概念の一例を図1に示す。車両がC駅からA駅までとA駅からB駅まで移動する際は位置エネルギーにより走行する。B駅からC駅へ移動する際は地上側に設置された位置エネルギー創出装置により車両を引き上げる。

2.2 エコライドの特徴と仕様

エコライドの軌道及び台車構造はジェットコースターで実績

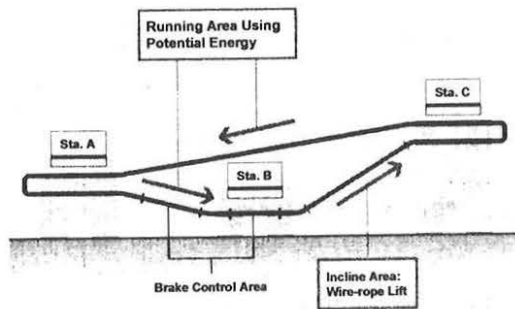


Fig.1 Schematic diagram of Eco-Ride track

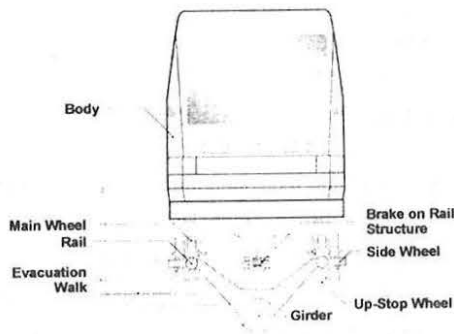


Fig.2 Schematic view of Eco-Ride profile

のある構造を踏襲している。左右 2 本のレールには円形鋼管を用いている。台車の構造を図 2 に示す。台車は主車輪、側車輪（ガイド車輪）、浮上り防止車輪で構成され、コの字型でレールを挟み込む 3 方向支持・案内方式となっている。車輪はウレタンゴム製である。この構造は脱線が発生しにくく、安全性が高い利点を有する。

車両を動かすための駆動装置及び制動装置は地上側の軌道に設けられる。これにより車両側には走行用の動力装置を搭載しないため軽量化が可能となり、走行エネルギーの低減を図ることができる。

車両が軽量なため、軌道を構成する構造体も軽量で簡素な構造にすることが可能である。これにより製造段階で省資材と輸送コスト低減を図ることができ、基礎構造も同様に省資材となる。その結果、他の軌道系交通機関と比べて建設費（インシャルコスト）の大幅な削減効果が見込まれる。

エコライドは路線の曲線半径を小さく設定できるほか、最大勾配も一般的な軌道系交通システムと比べて大きく設定でき、高速道路や幹線鉄道などの立体交差が容易である。また軌道構造が簡素なため、既存道路の中央分離帯や歩道を利用しての建設も可能で導入の自由度が高い。これは新たな用地の確保が不要（用地取得費の低減）につながり、既存道路を拡幅せずに輸送能力を増強できるメリットがある。中央分離帯に軌道を敷設した場合のエコライドのイメージを図 3 に示す⁽¹⁾。

エコライドがもつメリットはほかにも専用軌道を走行することで道路渋滞の影響を受けずに定時運転が可能であること、ドライバレス運転のため在線の車両数を増やしても乗務員の数を増やす必要はなく省力化に優れていること、末端公共交通機関として他の公共交通とシームレスな連携を図ることで、それま

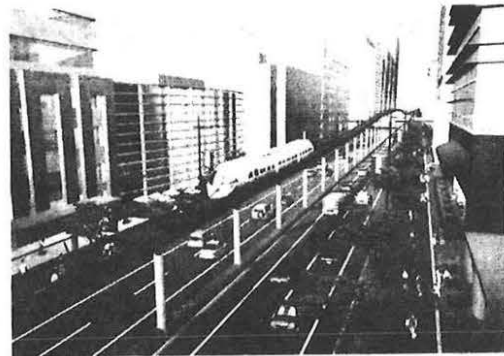


Fig.3 Image of Eco-Ride above road

で自動車で移動していた人が鉄道とエコライドを乗り継ぐ移動方法に変わり、自動車から公共交通へのモーダルシフトを促せることなどが挙げられる。

地形などの敷設条件に柔軟に対応できるため軌道線形などはバリエーションに富むものと思われるが、以下に実用を想定したときのエコライドの標準的な仕様を記す。

- ・路線長 最長 10km
- ・1 時間当たりの輸送人員 2000～2500 人／1 時間
- ・1 車両当たりの乗車定員 12 人／1 車両
- ・1 編成当たりの連結車両数 2～7 両／1 編成
- ・表定速度 20km/h
- ・最高速度 40km/h
- ・車体寸法 W2200×H2900×D4900mm
- ・空車時の車両重量 2500kg／1 両
- ・軌間 1500mm
- ・曲線半径 15m
- ・勾配 8 度 (140‰) 引き上げエリアは 14 度 (250‰)
- ・制動システム 永久磁石式ブレーキ、空圧式ブレーキ
- ・駆動装置 タイヤ摩擦式、誘導モータ式
- ・運転方法 ドライバレス
- ・列車制御 閉塞方式
- ・位置エネルギー創出装置 ワイヤロープ引き上げ式

3. エコライド第一次実験線と試作車両

3.1 第一次実験線

エコライドの基本的な性能を確認する走行実験を行うため、東京大学生産技術研究所千葉実験所構内に第一次実験線を敷設した。実験線の概略を図 4 に示す。

実験線は全長 99.8m のコースに高低差 2.88m を設け、図中の A 駅が軌道の高い側、B 駅が低い側となっている。実験では A 駅から B 駅への走行を基本とし、単線のため実験を行う際はウインチで車両を A 駅まで引き上げる。実験線の途中には実用時を想定して曲線半径 15m の急曲線と傾斜 8 度（約 140‰）の急勾配区間を設けている。軌間は 1500mm となっている。

軌道には車両を制動・停止させるための 2 種類のブレーキを設けている。一つは非接触型の永久磁石 (PM: Permanent Magnet) ブレーキで、永久磁石による電磁誘導を利用して車両を減速させるもので、無騒音、摩耗部品が皆無の利点がある。もう一つは空圧式機械ブレーキで、駅内の車両停止位置付近に設けて

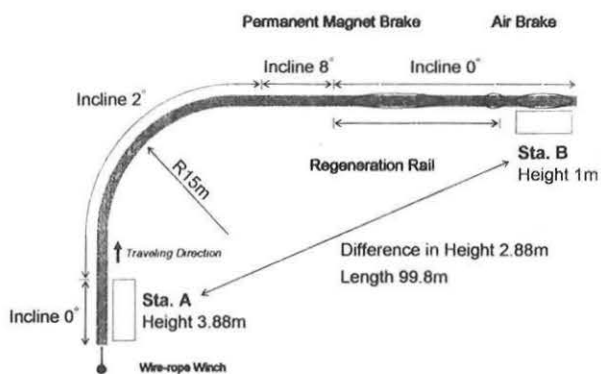


Fig.4 Schematic view of First Test Track

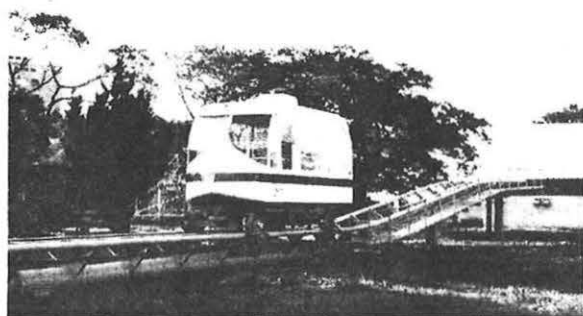


Fig.5 Prototype vehicle

車両底部の金属板（フィン）を挟み込んで制動・停止させる。

3.2 試作車両

実験線での台車及びエネルギー回生装置の試験・評価を目的に車両を試作した。第一次実験線と試作車両を図5に示す。

試作車両は1両と連接構造を用いた2両連結の二つの設定が可能となっている。車体寸法は1両あたり W2200×H2200×D4750mmとなっている。

試作車両にはエネルギー回生装置を搭載して試験を行った。回生装置はゴムタイヤ、PM同期モータ、インバータ、双方向チョッパ装置、電気2重層キャパシタで構成される。制動・停車の際は車両底部に取り付けられたゴムタイヤが図4中の専用レール上を回転し、ゴムタイヤと軸を介して直結したPMモータが発電機として機能することでエネルギーを回生する。この回生エネルギーはキャパシタに蓄電され、次回発車時のPMモータの回転による駆動力発生や車内照明・空調などに使うことを想定している。

4. 公共交通としての乗り心地評価

鉄道、バス、新交通システムなど全ての公共交通システムでは乗客が快適に移動できるよう、乗り心地の向上が常に求められる。エコライドも同様で、新しい公共交通システムとして研究開発を進めるにあたっては乗り心地の評価が必要である。

第一次実験線には半径15mの急曲線や傾斜8度（約140‰）の急勾配区間が存在しており、これらは通常鉄道の域を超えたものとなっている。このような急勾配及び急曲線は通常鉄道に存在しないことから、これらの乗り心地への影響は未知である。

そこで、急勾配及び急曲線の乗り心地への影響を調べるため、試作車両に加速度センサを取り付けて振動加速度計測を行い、計測結果から鉄道における乗り心地の評価方法である「乗り心地基準」を用いてエコライドの乗り心地の評価を試みた。本章ではその結果について報告する。

4.1 加速度計測

今回の計測では車両進行方向（以下、進行方向）、進行方向と横に直交する左右方向（以下、左右方向）、進行方向と縦に直交する上下方向（以下、上下方向）の三方向の加速度を計測する⁽²⁾。

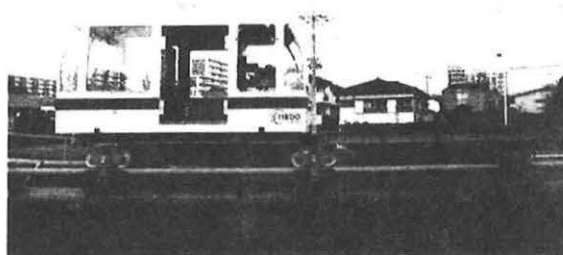
3.2節で述べたように、実験線上を走行する試作車両は1両（以下、単車）と連接構造を用いた2両連結（以下、連接）の二つがあり、加速度計測は車両状態によって分けた以下の四つの条件で行う。

- I. 試作車両単車時（重量 4221kg）
- II. 試作車両連接時：前方車両無負荷・後方車両への加速度センサ設置（重量 6136kg）
- III. 試作車両連接時：前方車両無負荷・前方車両への加速度センサ設置（重量 6136kg）
- IV. 試作車両連接時：前方車両負荷 950kg 搭載・前方車両への加速度センサ設置（重量 7086kg）

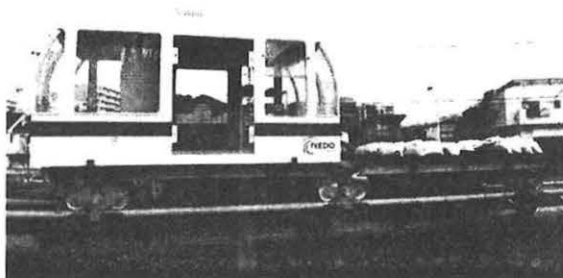
条件Iの車両状態は図5と同一であり、条件II及びIIIと条件IVの車両状態を図6に示す。

4.2 乗り心地解析

日本における通常の鉄道の乗り心地評価は国鉄時代の1963年に定められた「乗り心地基準」が最も広く用いられている⁽³⁾。今回この手法に沿って前節で得られた振動加速度の計測結果からエコライドの乗り心地の解析・評価を試みる。



(a) Conditions II and III



(b) Condition IV

Fig.6 Vehicle and measurement conditions

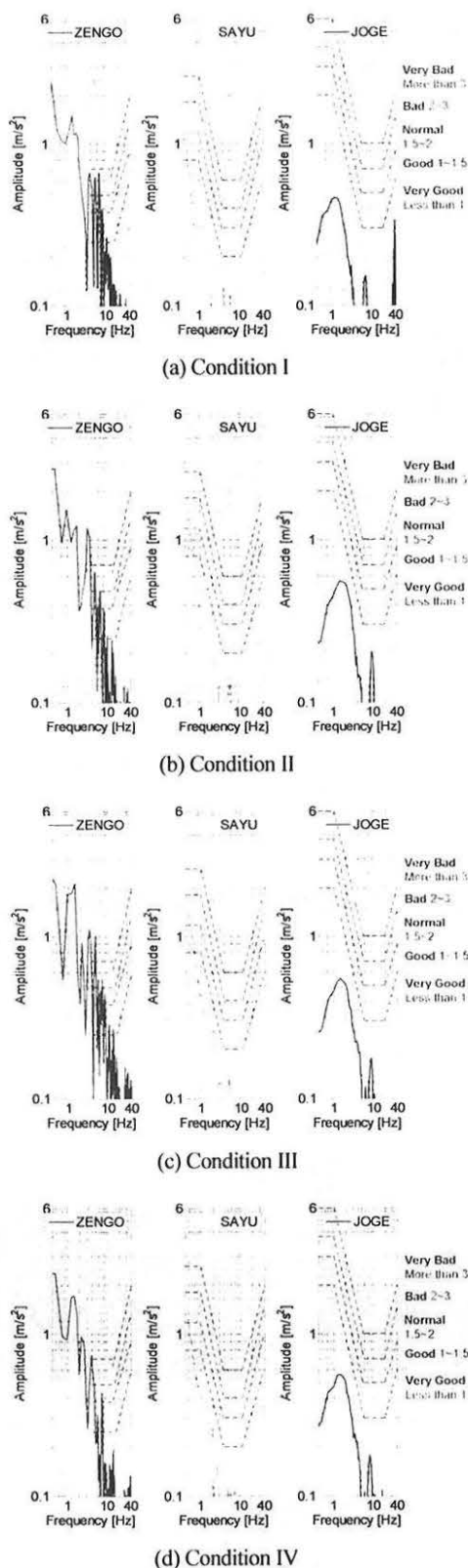


Fig.7 Results of ride comfort analysis

図7に「乗り心地基準」を用いて解析したエコライドの乗り心地の結果を示す。(a)は条件I、(b)は条件II、(c)は条件III、(d)は条件IVの結果である。各結果とも左から前後方向、左右方向、上下方向であり、横軸は周波数、縦軸は周波数ごとの加速度の最大振幅である。各グラフ中の破線は乗り心地評価区分の境界

で、乗り心地係数が1以下で「非常によい」、1~1.5で「よい」、1.5~2で「ふつう」、2~3で「悪い」、3以上で「非常に悪い」を表している。

この結果から、前後方向では乗り心地基準に定められている4Hz以上の領域、特に4~10Hzの範囲において乗り心地係数が1.5(ふつう)から3(悪い)までの間となっている。これは制動時の減速度が高いことに起因していると思われる。今後、乗り心地係数を低下させ、乗員に不快を与えない制動パターンを検討する必要がある。

左右方向ではすべての周波数領域において乗り心地係数はおよそ1以下となっているが、0.7Hz以下の周波数の低い領域では乗り心地係数が悪化している。これは曲線における遠心力の影響が現れているためと思われる。通常、曲線には遠心力の影響を抑えるためにカントが設けられるが、実験線の急曲線区間にはカントが設けられておらず遠心力の影響を直接受けやすい。

上下方向ではすべての周波数領域において乗り心地係数は1以下で概ね良好な結果となっている。今後は特に高周波領域で顕著に現れるものと予想される継ぎ目通過時の乗り心地への影響が検討課題に挙げられる。

5. 結言

本稿では都市交通事情や環境問題を背景に省エネ性、低建設コストに優れ、敷設場所の自由度が高い都市交通システムとして研究開発した「エコライド」と、公共交通システムとしての乗り心地評価を試みた結果について報告した。結論を以下にまとめる。

- (1) 軌道の高低差を利用して走行するジェットコースターの原理を活用した新しい概念の公共交通システムとして「エコライド」を提案し開発した。
- (2) 車両側に動力を持たないことによる車両軽量化で省資材・低建設コストを図れる構造とした。
- (3) 基本的な性能を確認するために第一次実験線を敷設し、試作車両を製作した。
- (4) 試作車両に加速度センサを取り付け、前後・左右・上下の3方向の振動加速度計測を行った。
- (5) 通常の鉄道で使われている「乗り心地係数」を用いてエコライドの乗り心地の解析及び評価を試みた結果、適用の見通しを得た。

今後は更なる乗り心地の向上、最適な車内座席配置、ITS (Intelligent Transportation Systems: 高度道路交通システム) との連携などについての研究を進める。

参考文献

- 1) 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, 日本機械学会第11回運動と振動の制御シンポジウム (MoViC2009), pp.370-374, (2009)
- 2) 山口大助・須田義大・表久紀・金山泰雄・関口明浩, 省エネ型都市交通システム「エコライド」の振動乗り心地に関する研究, 日本機械学会第11回運動と振動の制御シンポジウム (MoViC2009), pp.375-379, (2009)
- 3) 日本機械学会, 鉄道車両のダイナミクスー最新の台車テクノロジー, 電気車研究会, p.71, (1994)