

ロープ駆動式懸垂型交通システム “スカイレール”の開発

Development of Rope Driven Suspended Transportation System SKYRAIL

三原製作所 倉田章彦*¹ 山内誠二*²

新しい軌道系の短距離交通システムとして、小型の懸垂型キャビンをロープで駆動する地上駆動方式のロープ駆動式懸垂型交通システム“スカイレール”を開発した。現在、広島市東部の安芸区内大規模団地に初号機を建設中であり、平成10年の春に開業の予定である。本報では、初号機の概要を紹介するとともに、各種要素技術について述べる。キー技術となる握索機は、25人乗りの車両を27%の急こう配で運行可能な機能・性能を有するものを開発し、監督官庁の認定を得た。また、初号機建設のプロセスについても併せて記述する。

A rope driven suspended transportation system the SKYRAIL has been developed to improve the mobility of short distance transportation systems. At present the construction of the Seno line in the eastern part of Hiroshima city is well under construction, it will be operated in April 1998. This paper mainly reports the configuration of the Seno line, the development of the fundamental technology and the progress of construction, particular mention is made of a rope grip which provides the ability to climb inclines of up to 27% with a capacity of 25 people per car and has obtained special approval from the Ministry of Transport.

1. ま え が き

近年、都市圏の拡大や都市活動の多様化・大規模化に伴って、歩行距離の増大が顕著となっている。また、郊外の住宅地域では、丘陵の開発などに伴って最寄り駅までの移動手段が課題となるなど、短距離の交通のニーズが高まってきた。中でも定時性の高い軌道系公共交通機関の役割が再認識されている。

こうした中で、新しい軌道系短距離交通システムとしてスカイレールの開発が計画され、その基本の検討は、(社)日本交通計画協会を中心とした官民共同の研究会で行われてきた。

平成3年度から、研究会のメンバーであった当社と(株)神戸製鋼所の二社が共同して実験線の建設と運営を行い、実用化に向けての具体的な開発を進めてきた。そして(社)日本交通計画協会主催の技術評価委員会での確認を経て、運輸省、建設省委託の技術基準検討調査委員会において技術基準がまとめられ、初号機建設が実現した。

新しい公共交通システムを開発した場合は、安全の審査を行う技術基準の制定が必須となるため、実験線建設においては、実路線に限りなく近づけるとともに、拡張性の検証まで考慮したものとする必要があると考える。

2. スカイレールシステムの概要

本システムは懸垂型のモノレールの一種である。車両は鋼製の軌道桁(けた)に支持、案内された懸垂型で、その駆動は軌道上を一定の速度で常に循環するロープによって行われる。いわゆる地上駆動方式を採用している。駅部においてはロープを放し、地上一次のLIM(リニア誘導モータ)により運行を行う。

システムの基本となる技術は、安全思想と信頼性に貫かれたモノレールと、経済性に優れた急こう配に強いロープウェイの二つである。いずれも検証済の技術であり、これを組合せることにより、新しいコンセプトのシステムを実現させた。すなわち、比較的小量の輸送にターゲットを絞ることで、システムの簡素化、小

表1 システム諸元

System specification

項 目	実 験 線	初 号 機
最大輸送能力 (人/時間/方向)	—	1 200
摘要路線長さ (km)	0.2	1.3
路線形状	シャトル	複線(循環)
車両定員 (人)	25	25
運行時隔 (s)	—	75
運行速度 (km/h)	18	18
最小曲線半径 (m)	30	100
最大こう配 (%)	27	27
運行方式	自動	無人運行
支持方式	軌道桁に懸垂	
駆動方式	駅 間	ロープにより運行
	駅 部	LIMにより加減速

型化を行うことで建設費の低減を図っている。

3. 建設中の初号機(広島短距離交通瀬野線)

現在、広島市安芸区内に西日本旅客鉄道(株)の山陽本線瀬野駅と団地(スカイレールタウンみどり坂)間の移動手段として初号機を建設中である。

表1に仕様を、図1にシステム構成、図2に路線図、図3に建設中の軌道外観を示す。

実験線は初号機の仕様に合わせて計画しており、基本事項については検証を終えている。初号機と実験線の相違点や、実験線では検証できなかった事項(連続運行、複数車両での連動運行や複合異常等)については、開業に先立って国の研究機関(運輸省交通安全公害研究所)の試験により、軌道の強度や設備の機能・安全性等を確認する。システムの要素技術、実験線で得られた結果及び初号機での検証計画、実験線と初号機の比較で得られた結果、及び初号機での検証計画、実験線と初号機の比較を以下に報告する。

*1 機械・プラント技術部建設課主務

*2 機械・プラント技術部交通システム設計課

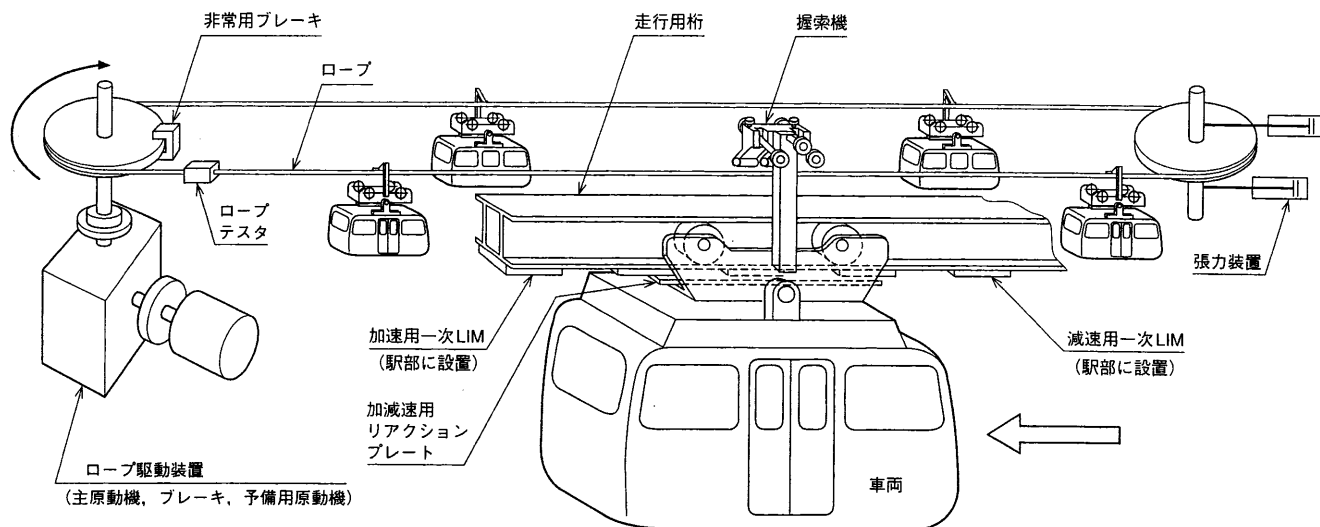


図1 システム構成図 システムの駆動系はロープと LIM により構成されている。
Composition of SKYRAIL system

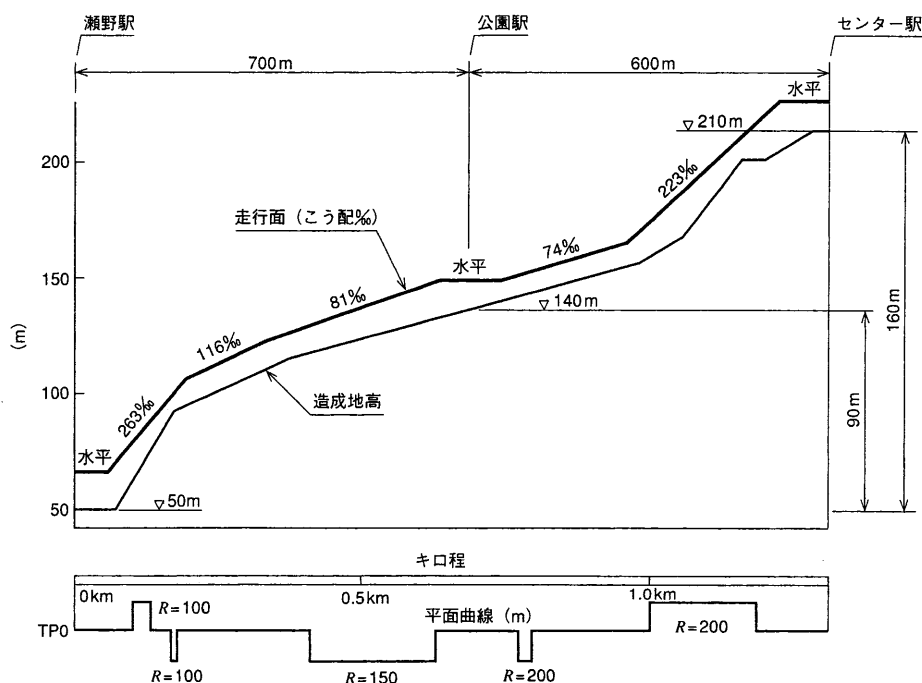


図2 路線図 瀬野線縦断面を示す。
Route of Seno line



図3 建設中の軌道外観
Outline of girder track

4. 要素技術の開発と評価及び実験線と初号機の比較

実験線の建設、運営等で得られた知見について以下に述べる。

4.1 軌道構造物（支柱、軌道桁）

本システムの軌道構造物は、懸垂型モノレールと同様、鋼製の軌道桁とそれを支持する T 型支柱によって構成される。軌道桁の特徴は H 型鋼を 2 本合せた構造で、荷重を支える構造体の機能と、車両を走行させ案内する走行路・案内軌条の機能を併せ持つところにある。このため、軌道桁の製作精度が車両の走行性能や乗心地に直接影響するため、初号機では管理基準を厳しく設定した。管理基準としては伸縮継手部の段差は 2 mm 以下、走行面の不整は 3 mm/3 m 以下等を設定して軌道構造物の製作、架設を行った。今後、車両の実走行での旧国鉄の乗心地基準で、1.5 以下の“良い”の範囲内にあることの確認を行う予定である。また、強度面については、伸縮継手部や現場溶接部に関しては疲労強度を

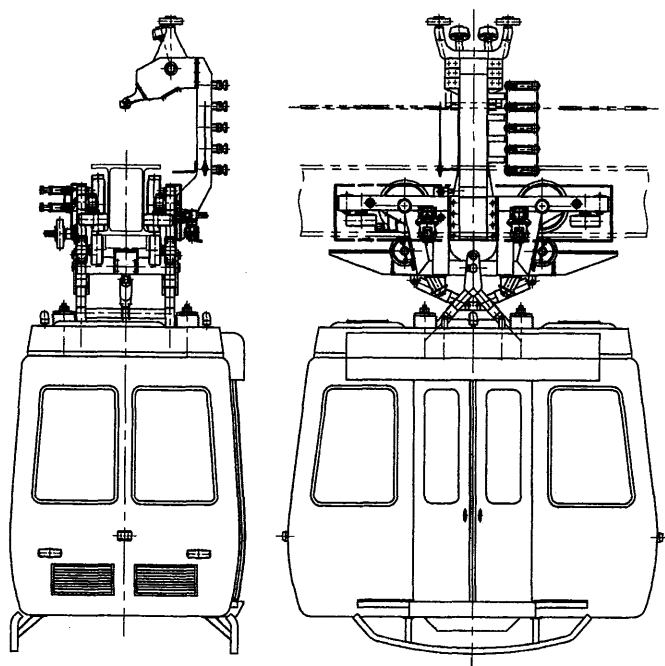


図4 車両構造図 車両の外観を示す。
Outline of vehicle

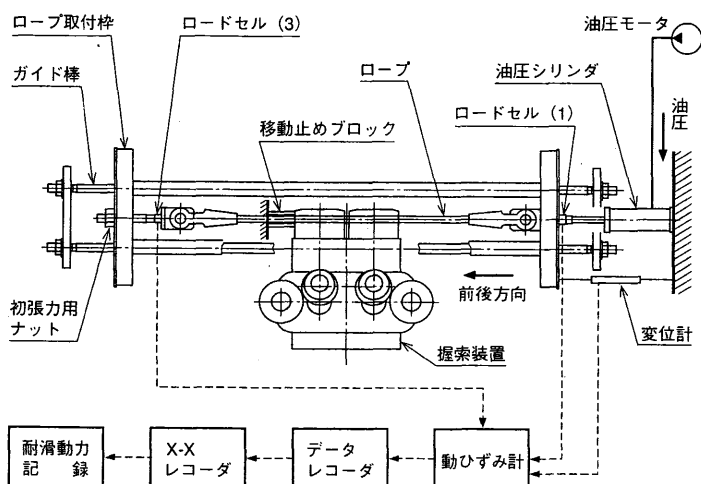


図5 握索装置の試験装置（耐滑動力）
 の試験装置を示す。
 Anti slipping force test of grip

含め問題のないことを実験線で確認している。

4.2 車 両

車両は車体、台車及び握索装置によって構成される。その概略構造を図4に示す。車体は軽合金溶接構造としている。台車は、台車枠のほかにウレタンゴム製の走行車輪、案内輪、安定輪、LIM用の二次側リアクションプレート、制動用ブレーキパッド及び懸垂装置から構成されている。懸垂装置は、1本のピンにより前後方向に回転自由に支持するとともに、コイルばねにより車体への振動の伝達を緩和する構造を採用している。初号機の車両は、実験線と基本構想は同じであるが、実験線での走行データ（振動加速度）を基に大幅な軽量化を図った。

握索装置は、本システムのキー技術の一つで、その運用が特徴の一つである。その詳細については次項にて述べる。

4.3 握索裝置

握索装置は、索道（ゴンドラ、ロープウェイ等）の技術基準に

表2 握索装置の試験データ (耐滑動力)
Slipping resistance force test data

ケース No.	試験条件	耐滑動力
1	$L = 0 \text{ kgf}$ $V = 0 \text{ kgf}$	平均 5 370 kgf
2	$L = +850 \text{ kgf}$ $V = 0 \text{ kgf}$	平均 5 430 kgf
3	$L = -850 \text{ kgf}$ $V = 0 \text{ kgf}$	平均 5 580 kgf
4	$L = 0 \text{ kgf}$ $V = +650 \text{ kgf}$	平均 5 373 kgf
5	$L = 0 \text{ kgf}$ $V = -650 \text{ kgf}$	平均 5 448 kgf

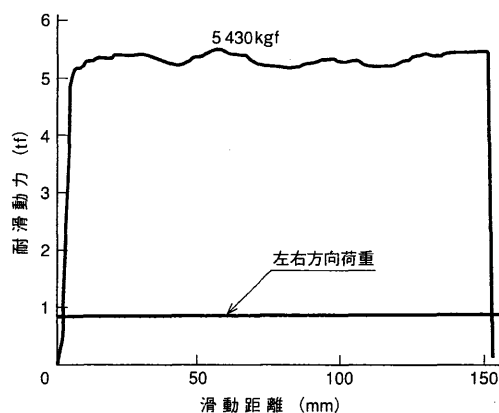
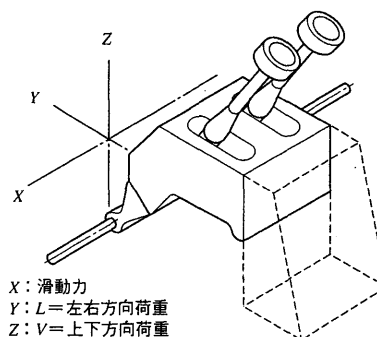


図6 握索装置の試験データ（耐滑動力） ロープ分
力を負荷した耐滑動力の測定チャートを示す。
Slipping resistance force test with lateral force

準拠した設計としている。すなわち、車両の荷重、軌道の傾斜、風の条件が最大の場合に、耐滑動力が安全率 1.5 以上の握索機を 2 個装備している。本システムの特徴として、握索装置とロープをガイドする受索輪との接触を避けるため、水平曲線部では曲線の外側に、直線部及び凸形の縦曲線部では上方に、また、凹形の縦曲線部では下側に各々ロープを引出して通過する構造を採用している。このため、通常の索道と異なり握索装置にロープ張力の分力が働くことになる。このため、握索装置の認定機関である運輸省交通安全公害研究所と、システム特有の使用条件を検証するための装置及び方法を協議し、性能試験を行った。図 5 に握索装置の試験装置の構造を、表 2 及び図 6 に試験結果を示す。その結果、認可条件を満たしていることが認められた。

以下にその試験結果を記述する。

(1) 対滑動力試験

ロープ径が所定寸法の場合、2%減少の場合及び12%増加の場合について、すべり抵抗（耐滑動力）の測定を行った。それ

それぞれのロープ径に対して、ロープ張力の分力（左右方向、上下方向）が負荷された場合においても、基準滑動力の3倍以上の耐滑動力が安定して得られている。

(2) 対荷重試験

握索装置に前後方向荷重（最急こう配時における車両総重量のロープ方向分力相当荷重）、又は、ロープ張力の分力による荷重（左右方向、上下方向）を負荷したが、このとき握索装置の主要部に発生した応力は、いずれも材料の降伏点の1/5より小さい値を示した。よって、本握索装置は、必要な強度を有している。

(3) ばね特性試験

使用時の最圧縮状態の負荷荷重の1.2倍の荷重を繰返し負荷したが、永久変形は認められなかった。また、荷重とたわみの関係も、ばねの使用範囲において測定された試験値は、設計値の±10%の範囲内にあり、必要な性能を有している。

(4) 握索装置の形状・寸法検査及び機能

供試体の確認を行った結果は、特に問題となる点は認められなかった。

握索装置についても、実験線に比べて、軽量化、握放索時の衝撃削減のため改造変更を行っている。このため、実走行での応力測定を行い、信頼性の確認を行う予定である。

4.4 加減速装置（LIM：地上次リニア誘導モータ）

加減速装置は、駅部において車両を加速、減速するための装置として設ける。特に、握索（ロープをつかむ）時には車両の速度をロープの速度に同調させることが重要な機能となる。加減速装置の制御は図7に示すように、握索位置でのロープ速度を常時検出し、車両の速度と比較してフィードバックする方式を採用している。実験線での結果は、握索時の速度差はロープ速度の1%以内に収まっている。車体床面の振動加速度も0.1g程度と良好な結果が得られた。また、乗降位置での定位置停止制御も±15cm以内となっており、計画時の目標値を満足している。

4.5 機械ブレーキ

機械ブレーキは、停止中の車両の転動防止及び放索（ロープを放す）中の車両の緊急時の非常停止のために、軌道桁上に設けている。車両に装備したブレーキパッドを、地上側に設けたブレーキ板が重力で落下して挟む方式を採用している。非作動時はブレーキ板を空気シリンダで持上げて開放する構造としている。実験線において、機械ブレーキ作動時の停止距離、減速度を測定した。その結果、満車状態での平均減速度は0.1g程度であり、設計値を満足する結果が得られた。

