

# 令和5年度 富士山登山鉄道 技術課題調査検討結果

---

# 目次

## 目次

1. 業務概要
2. LRTシステム導入における課題整理
3. LRTシステムに係る課題の検討
4. 事業運行上の課題整理
5. 事業運行上の課題の検討
6. 検討課題の優先順位の整理
7. 課題解決に要する期間・費用の提示
8. 技術課題解決に向けたロードマップの策定
9. 課題認識の共通化

# 1. 業務概要

背景・前提条件の確認、過去の調査による結果

- (1) 対象道路の概要
- (2) 過年度までのLRT導入検討の経緯
- (3) 富士スバルラインの現状について

# 1. 業務概要（前提条件の整理）

## （1）対象道路の概要

対象とする富士山有料道路（富士スバルライン）は、起点～富士山料金所手前までの無料区間と富士山料金所～五合目までの有料区間を合わせて富士山有料道路（富士スバルライン）である。

平成17年6月6日に償還期間が終了し、平成17年6月7日より維持管理有料道路となったため起点が変わり、富士山料金所手前の交差点～五合目までが富士山有料道路となっている。以下に、富士スバルラインの概要を示す。



供用開始	昭和39年4月1日
延長	24.1 km（胎内交差点～五合目）
標高	1,050m（胎内交差点）～2,305m（五合目）
標準幅員	8.0m（構成0.75m+3.25m+3.25m+0.75m）
勾配	横断勾配1.5%、縦断勾配平均5.2%、最大8.8%
最小曲線半径	27.5m

# 1. 業務概要（前提条件の整理）

## （1）対象道路の概要

### 気象条件

富士山特有の課題として、強風、雪崩（スラッシュ雪崩）等の気象災害・富士山噴火など火山災害への対応、軌道の基盤としての溶岩・スコリアといった火山性地質への配慮、観光資源・信仰対象としての富士山の景観への配慮などが挙げられており、技術課題の検討はこれを考慮して実施する必要がある。

### 吉田口五合目における月別気象の状況

（平成24年度（2012年）～平成30年（2018年）12月平均）

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
最大瞬間風速(m/s)	40.0	42.3	34.5	38.1	33.0	49.4	49.9	35.7	43.3	38.9	42.7	42.0
最高気温(°C)	16.0	19.5	19.5	23.0	22.2	20.5	21.1	11.7	11.5	6.0	7.0	11.3
最低気温(°C)	-12.7	-6.3	-0.4	7.2	6.2	0.6	-5.7	-11.7	-18.5	-22.3	-19.1	-18.4
最大日雨量(mm)	113	96	138	257	217	277	196	168	157	64	168	225
除雪日数(日) (H29年度)	14	—	—	—	—	—	3	16	18	22	26	26

吉田口五合目の月別最高気温は、7月が最も高く23.0°Cで、最低気温は1月が最も低く-22.3°Cである。最大日雨量は、9月が最も高く277mmで、1月が最も低く64mmである。

### 富士スバルライン（富士山有料道路）の月別営業状況

◎ 営業実績（月別営業区間：H24～H29年度平均）

(日)

営業区間	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	年間
5合目まで（全線営業）	10	30	29	31	30	29	30	22	10	2	0	0	223
4合目(大沢駐車場)まで	11	0	0	0	0	0	0	5	8	9	8	15	56
1合目下駐車場まで	8	1	1	0	0	0	0	2	12	17	13	14	68
全線通行止	1	0	0	0	1	1	1	1	1	3	7	2	18
合計	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	365
通行止の主な要因	雪前注意報 凍結 降雪	雪前注意報 凍結 大雨	大雨	大雨	台風 強風	台風 強風	台風 強風 降雪	凍結 降雪	凍結 降雪	凍結 降雪	凍結 降雪	雪前注意報 凍結 降雪	

# 1. 業務概要（前提条件の整理）

## （2）過年度までのLRT導入検討の経緯

### 富士山への新たな交通システム導入に関する過去の調査事例の整理

調査年度	テーマ・実施主体	調査内容	調査結果
H5 (1993)	富士山有料道路の現状及び将来展望 【山梨県企業局】	料金徴収期限後の富士スバルラインの活用方策について検討	・電気バスが優れている（採算性）
H6～8 (1994～1996)	富士山への新交通システム導入可能性調査 【山梨県企業局】	技術面、採算面、環境保全の観点から、新たな交通システムの導入可能性を検討	・低公害バスを含む自動車系が有望
H10 (1998)	富士山新交通システムに関する庁内検討 【山梨県】	料金徴収期限後の富士スバルラインについて、考えられる選択肢と課題を整理	・ルートは富士スバルラインを活用する ・低公害バスを含む自動車系で検討する
H11 (1999)	富士スバルラインに関する検討調査 【山梨県企画県民局】	富士スバルラインの無料化による影響・課題と対応策を検討	・無料開放された場合の影響・課題、基本方針と対応策を検討
H12～14 (2000～2002)	富士スバルラインの将来のあり方検討 【山梨県】	富士スバルラインの料金徴収期間終了後の管理のあり方を検討	・新交通システムの可能性を探りつつ、道路利用者の分散・抑制を図る
H25～27 (2013～2015)	富士山の環境と観光のあり方検討会 【富士五湖観光連盟】	富士山及び山麓地域の自然環境・文化的景観の保全と魅力的な観光地づくりについて検討	・富士山五合目への交通として、富士スバルライン上への鉄道敷設が最適 ・定量的な分析が必要
R1～3 (2019～2021)	富士山登山鉄道構想策定支援業務委託 【山梨県】	環境保全・地域経済に与える効果等の調査・分析、技術的課題の把握とその対応策及び整備費試算等の検討	・鉄道整備の実施方針及び技術課題の検証等を踏まえ、事業収支の精査を行う必要がある

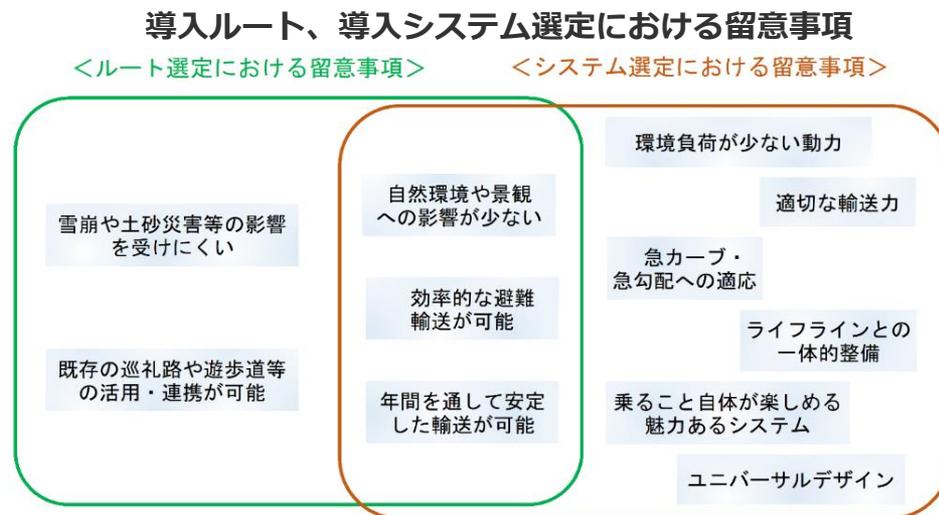
⇒ R3.2 山梨県登山鉄道構想策定【富士山登山鉄道構想検討会】

# 1. 業務概要（前提条件の整理）

## （2）過年度までのLRT導入検討の経緯

前提条件として、過去に行われた調査結果を下記に示す。

### LRTの選定理由



### 技術的な適合性

課題・論点	検討の方向（案）	備考（現状・検討会意見）
連続勾配など地形条件等への適合	<ul style="list-style-type: none"> <li>連続勾配などに対し十分な推進性能・制動性能を有する交通システムの選択</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>交通分野で様々な研究開発や技術革新が進展</li> </ul>
先進的なモビリティ技術の積極的な導入	<ul style="list-style-type: none"> <li>バッテリーや燃料電池、非接触給電、架線レスシステム等の導入可能性の検討</li> </ul>	<p>【検討会意見】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>架線レスなど、新しいシステムとすることが効果的</li> </ul>
緊急車両等の通行手段の確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>緊急車両や保守管理車両等の通行が可能な軌道方式の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>緊急時に車両でサポートできるよう、道路面の機能を残して軌道を整備する方法もある</li> </ul>

# 1. 業務概要（前提条件の整理）

## （2）過年度までのLRT導入検討の経緯

### 過年度検討における導入ルート設定の考え方

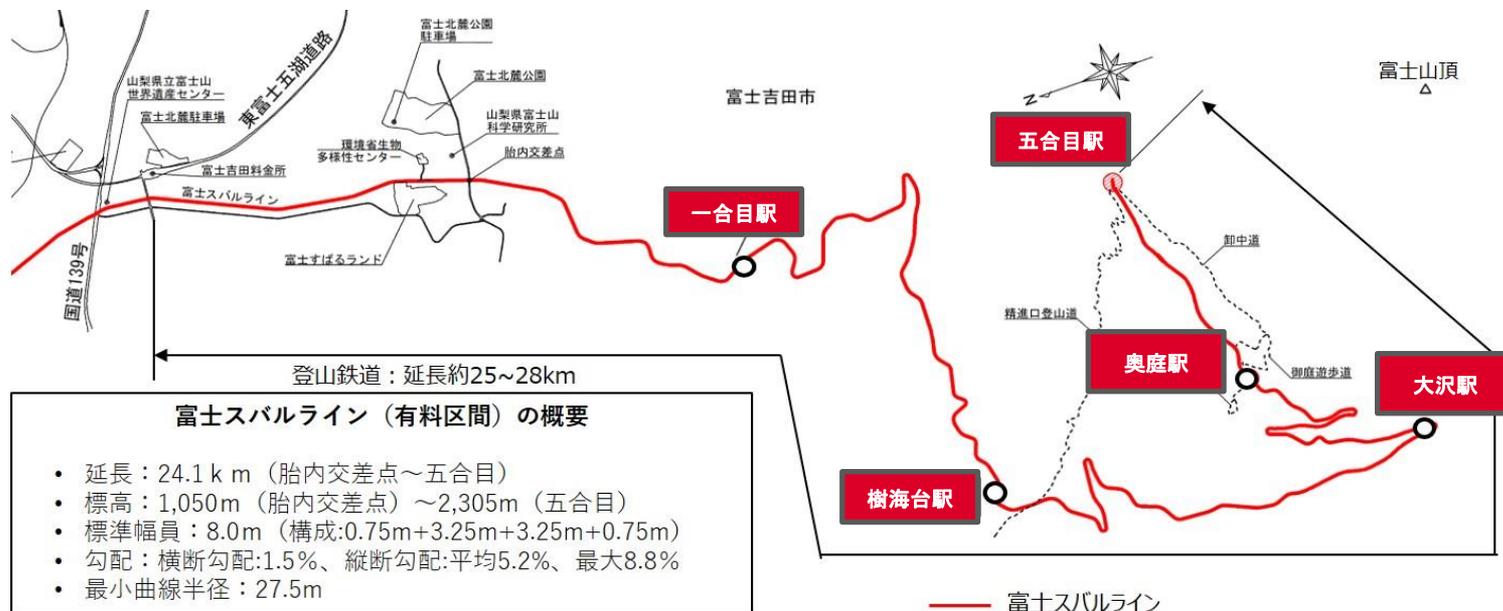
- 軌道は富士スバルライン上に敷設し、道路の線形改良（拡幅等）は原則行わない。
- 山麓を起点とし、五合目までの約25～28kmの区間に路線を整備することを想定する。
- 山麓ターミナルですべて乗換えとなる。
- 軌道整備後はバス・タクシーを含む一般車両の通行は規制する。



登山鉄道整備後のイメージ

[https://www.pref.yamanashi.jp/fujisan-hz/fujisan\\_railway/fujisan\\_railway\\_top.html](https://www.pref.yamanashi.jp/fujisan-hz/fujisan_railway/fujisan_railway_top.html)

### 全体ルート図及び富士スバルラインの諸元



# 1. 業務概要（前提条件の整理）

## （2）過年度までのLRT導入検討の経緯

### 駅施設等配置の考え方

- 登山鉄道には、起点となる山麓駅、終点となる五合目駅のほか、展望景観を楽しみ、精進口登山口、御中道等へアクセスするための中間駅が検討されている。

中間駅
一合目駅
樹海台駅
大沢駅
奥庭駅

### 駅施設等配置の考え方と必要機能

	山麓駅	中間駅（4駅）	五合目駅
配置の考え方	<ul style="list-style-type: none"> <li>必要面積を精査した上で、既存交通拠点からのアクセス、富士スバルラインへの接続性、他交通への影響の少なさ等から場所を選定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>展望景観に優れる場所、既存遊歩道等との結節点に整備</li> <li>既存駐車場空間を有効活用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>富士スバルライン五合目駐車場に整備</li> <li>現状の土地利用を踏まえ、半地下式を想定</li> </ul>
想定される主な機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>交通機関の乗り換え施設（バスターミナル、駐車場、P&amp;R等）</li> <li>車両基地</li> <li>店舗、食堂、トイレ等のサービス機能</li> <li>情報提供・解説機能</li> <li>緊急時の一時退避機能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>列車の折返し機能</li> <li>列車のすれ違い機能（単線の場合）</li> <li>情報提供機能</li> <li>展望、休憩機能</li> <li>信仰、眺望、遊歩道、植生などの解説機能</li> <li>緊急時の一時退避機能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>展望機能</li> <li>店舗、食堂、トイレ等のサービス機能</li> <li>情報提供・解説機能</li> <li>緊急時の一時退避機能</li> <li>緊急車両及び保守管理車両格納機能</li> </ul>



## 2. LRTシステム導入における課題整理

- 2.1 前提条件
- 2.2 軌道に関する課題の整理
- 2.3 車両に関する課題の整理

## 2. LRTシステム導入における課題整理

### 2.1 前提条件

- LRTシステムを導入する
- 軌道は富士スバルライン上に敷設し、道路の線形改良（拡幅等）は原則行わない
- 緊急車両が通れる軌道構造とする
- 景観等への配慮から架線レスなど新しいシステムの導入を積極的に検討する。

	LRTシステム導入の課題	検討の必要性・背景
軌道に関する課題	自動車の軌道への乗り入れ	登山鉄道整備後も、緊急車両等が通行する必要があるため、自動車の乗り入れが可能な軌道構造とすることが必要である。
	急勾配への対応	富士スバルラインの平均勾配52%、最大勾配88%と急勾配の自動車道路である。
	急曲線への対応	最小曲線半径27.5mと急曲線部（ヘアピンカーブ）が複数存在する。
	火山性地盤への対応	富士スバルラインは玄武岩質の溶岩・スコリアの堆積物の上を通過している。
	冬季の軌道管理の対応	1月の最低気温は-20℃以下になり、冬季降雪・凍結に対応した管理が必要である。
車両に関する課題	架線レスへの対応	富士山の景観や信仰に配慮すると架線レスの車両が望ましい。
	鉄道車両の構造／低床・普通床の選択	宇都宮LRTなど低床型の車両の適用性も検討する。
	登坂性能の確保	富士スバルラインの急勾配を登坂できる能力が必要である。
	制動性能の確保	富士スバルラインの急勾配を降坂できる能力が必要である。
	低温時の走行能力の確保	-20℃でも安全な走行能力が必要である。

## 2.2 軌道に関する課題の整理

- (1) 自動車の軌道への乗り入れ
- (2) 急曲線と急勾配およびその競合

## 2. LRTシステム導入における課題整理（軌道）

### 2.2 軌道に関する課題の整理

#### （1）自動車の軌道への乗り入れ

- 登山鉄道整備後も、緊急車両等が通行する必要があるため、自動車の乗り入れが可能な軌道構造とすることが必要と考えられる。軌道敷への自動車の乗り入れが可能な軌道の例を下表に示す。
- 各軌道構造とも富士山登山鉄道に導入可能であるが、建設工事の期間、工事費用及び開通後の軌道保守の難易度を考慮して使い分けを決める必要がある。

表：自動車の乗り入れが可能な軌道の例

名称	断面図	特徴
バラスト軌道		バラスト軌道をアスファルト舗装した最も一般的な構造であり、軌道沈下に伴う補修が定期的に必要となる。急曲線・急勾配箇所への敷設事例が多い。
接続軌道		プレキャストのPCスラブに締結装置でレールを取付ける軌道であり、幹線道路との交差点、踏切に多く使用されている。軌道沈下が生じ難く急曲線箇所への使用例も多い。バラスト軌道よりも整備費は割高となる。
樹脂固定軌道 (インファンド工法)		海外から技術導入された比較的新しい軌道であり、プレキャスト又は現場打設のRCスラブにレールを樹脂で固定する軌道構造である。急曲線にも対応している。バラスト軌道よりも整備費は割高となる。

## 2. LRTシステム導入における課題整理（軌道）

### 2.2 軌道に関する課題の整理

#### (2) 急曲線と急勾配およびその競合

- 軌道法（軌道建設規程）の勾配制限は40%であり、特殊箇所は67%とされている。
- 鉄道車両は、曲線区間の登坂及び下り走行時に車輪がレールに接触して方向を変える際に走行抵抗が生じる。JR在来線等では曲線に伴う抵抗力を勾配に換算する考え方が一般的である。
- 富士スバルラインのヘアピン箇所など、急曲線と急勾配の競合区間は厳しい条件である。

#### 急曲線と急勾配が競合する箇所の例

箱根登山鉄道 半径80m、勾配80%	富士スバルライン 半径40.5m、勾配80% (23K900m付近)
都電荒川線 (王子駅付近) 半径49m、勾配67%	半径29.5m、勾配53% (第5ヘアピン)

走行抵抗を表す轉向横圧力の机上の検討は困難であり、測定を開業前の試運転時に行い、安全走行を検証して必要な場合にはレールへ摩擦調整材などの塗布などを行う必要がある。



写真：都電荒川線王子駅付近 (半径49m、勾配67%)



写真：第5ヘアピン (半径29.5m、勾配53%)

## 2.3 車両に関する課題の整理

- (1) 電源の比較：架線レス
- (2) 低床LRV vs. 普通型LRV
- (3) 登坂性能に関する課題（線形面）
- (4) 制動性能（ブレーキ）に関する課題
- (5) 気象条件（特に冬季）に関する課題

## 2. LRT システム導入における課題整理（車両）

### 2.3 車両に関する課題の整理

#### （1）電源の比較：架線レス

電源	電源/集電方式	航続距離、その他	必要設備	冬季対応
車載電源	①バッテリー	一回の充電での航続距離は『平坦』で25km程度 再充電なしでのスバルライン登坂は困難	起終点駅、途中駅に充電設備を設置 各駅10分超の充電時間が必要	耐寒性あり (札幌市で実績あり)
	②燃料電池	航続距離は蓄電池式の5～10倍 車載の燃料電池は試験/開発段階	起終点駅等に水素ステーションや防消火施設等の整備が必要 水素の安定供給も課題	水（生成水で、環境への影響なし）の凍結の恐れ 寒冷地での運転実績は不十分
	③キャパシタ	航続距離は蓄電池式の1/3～1/5 再充電なしでのスバルライン登坂は困難	勾配での走行のため途中駅以外にも再充電設備の設置が必要	耐寒性あり
連続集電 (車載電源なし)	④第三軌条	連続集電のため、航続距離・勾配対応に制限がなく十分な実績を有する 回生エネルギーのシステム内利用が可能	線路脇（片側）に給電用レール（第三軌条）を設置	20cm程度の積雪であれば走行可能
	⑤地表集電 (接触型)	連続集電のため、航続距離・勾配対応に制限がないものの国内に採用事例なし 回生エネルギーのシステム内利用が可能	レール中間にセグメント式の給電システムが必要	給電線上に積雪がある場合は走行不能のリスクあり
	⑥地表集電 (非接触型)	連続集電のため、航続距離・勾配対応に制限なし 下り勾配での回生ブレーキにはバッテリー搭載が必要	磁界結合型非接触給電方式ではレール脇に銅製の電磁コイルを敷設 電界結合型非接触給電方式ではレール中間にアルミ製電極版を設置	数cm程度の積雪であれば走行可能と想定

## 2. LRT システム導入における課題整理（車両）

### 2.3 車両に関する課題の整理

#### （1）電源の比較：架線レス

（参考）：第三軌条および『景観に配慮した』架線

集電方式	航続距離、その他	必要設備	冬季対応
第三軌条集電方式	景観面では優位であり、海外では屋外でも多く用いられているが、感電など安全面での対策が必須である。	線路脇：第三軌条 防護板（感電防止） 駅間：変電所	第三軌条への着雪・凍結対策が必要
(景観配慮型) 架線集電方式	第三軌条よりも公衆の感電リスクは低く安全面で優位。架線柱を目立たないよう工夫するなど景観への配慮が必要である。	線路脇：架線柱 線路上空：架線 駅間：変電所	北海道など寒冷地でも適用事例多数



第三軌条(左：東京メトロ丸ノ内線、右：バンコク)



デザインされた架線柱(左：堺市、右：フランス)

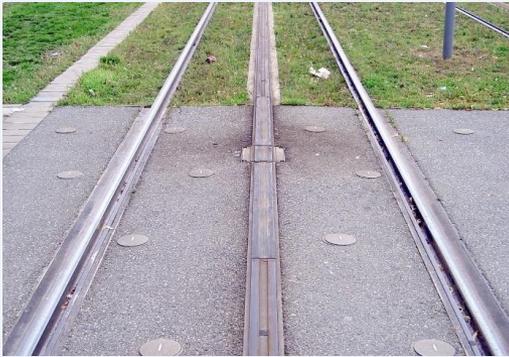


## 2. LRT システム導入における課題整理（車両）

### 2.3 車両に関する課題の整理

#### （1）電源の比較：架線レス

##### 架線レス電源の評価：各方式の説明

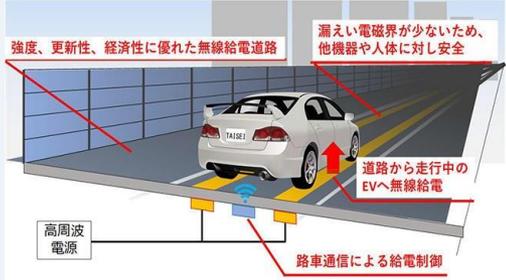
集電方式	歴史・実績	参考図
第三軌条集電方式	<p>1879年から実用化。 国内では1927年現東京メトロ銀座線で採用後、大阪・名古屋・横浜等の地下鉄で使用。</p> <p>海外では屋外でも多く用いられ、フランスの最急勾配60%・標高1592m路線でも使用。</p> <p>日本ではレール上面接触式のみ実用化。欧州大陸のレール下面接触式は雪にも強い。</p>	
接触型 地表集電方式	<p>2003年にフランス・ボルドー市でアルストム社APS方式として実用化。ブラジル・リオデジャネイロ市でも採用。</p> <p>軌道中心の集電レールに車両在線時のみ電力供給し、安全性が高い。</p>	

## 2. LRT システム導入における課題整理（車両）

### 2.3 車両に関する課題の整理

#### （1）電源の比較：架線レス

##### 架線レス電源の評価：各方式の説明

集電方式	歴史・実績	参考図
<b>磁界結合型 （電磁誘導式） 非接触給電方式</b>	<p>レール脇に銅製の電磁コイルを敷設し、車上コイルとの間に発生する電磁誘導を利用して数百kHzの電源を供給する。</p> <p>本方式は日本を含む世界中で開発が進められており、IEC国際規格の制定も検討されている。</p> <p>停止中充電用としては、2013年にはEVバス用に最大200kW容量で実用化された一方、走行中の連続的な電源供給方式としては、コイルを連続的に敷設するためコストが高くなることもあり、実用例は未だ報告されていない。</p>	
<b>電界結合型 非接触給電方式</b>	<p>路面とアルミ製電極に数MHz電源を供給し、車上電極で集電する。電力伝送用電極の構造が簡単で安価だが、電源は高価となる。</p> <p>2022年に大成建設・豊橋技術科学大学他が10kW級試験設備建設を発表。</p>	

## 2. LRT システム導入における課題整理（車両）

### 2.3 車両に関する課題の整理

#### （2）低床LRV vs. 普通型LRV

LRT（軽軌道鉄道）の車両タイプは、低床型LRV（トラムタイプ）と普通型LRV（いわゆる電車タイプ）に大別される。

- 富士山登山鉄道でいずれの方式が最適となるかは、登山鉄道用として、バッテリー、インバータなど車載機器の搭載スペースの確保、台車の安全性などの観点からの検討が必要である。

車両タイプ	利点	課題	事例
 低床型	<ul style="list-style-type: none"><li>ホームが低く設計でき、バリアフリーの観点から優位</li></ul>	床下に駆動機器のスペースがなく、屋根上のみとなるため、大容量バッテリーなどの機器搭載が困難	宇都宮ライトレール 都電荒川線
 普通型	<ul style="list-style-type: none"><li>乗客のアイポイントが高く、観光に有利</li><li>乗り心地、安定性の良い台車が適用可能</li><li>車両床下に各種機器を積載可能で保守に有利</li></ul>	ホームと地上のレベル差が低床型よりも大きくなり、バリアフリーの点で配慮が必要	箱根登山鉄道 東急世田谷線 江ノ電 京阪京津線

## 2. LRT システム導入における課題整理（車両）

### 2.3 車両に関する課題の整理

#### (3) 登坂性能に関する課題（線形面）

- 現在、日本国内の登山鉄道で粘着式の最急勾配は箱根登山鉄道の80%となっている（ラック式は大井川鐵道井川線の90%が国内の最急勾配）。
- 海外のLRTの登坂性能の事例としては、オランダ ハーグの80%の例、ポルトガルのリスボンでは135%が挙げられる。
- 車両の登坂性能を検討する場合は、急勾配に加え、急曲線との組み合わせの考慮も必要である。
- 車両の対象路線への登坂性能の確認は、満員時(250%乗車時)の荷重で雨天時の車輪とレール間の粘着係数(摩擦係数0.15程度)の条件で、車両の駆動モーターの駆動力により一旦停車した状態から発車が可能であるか否かで確認する。



図：箱根登山鉄道の例

## 2. LRT システム導入における課題整理（車両）

### 2.3 車両に関する課題の整理

#### （4）制動性能（ブレーキ）に関する課題

- 粘着式で最急勾配88%、高低差1,000mの登山鉄道は現時点で事例が無いと考えられるため、回生ブレーキ（自動車のエンジンブレーキに類似）も含め制動装置に関しては慎重な検討が必要である。装備すべきブレーキとしては、下記のとおり。
- 加えて、急ブレーキ時の車輪の滑走防止のため、摩擦調整材であるセラミック粉（アルミナ）散布装置（セラジェット）の装備が必要。

	減速・停車時	勾配駅停止時	下り勾配での抑速時
①回生ブレーキ （モータを発電機として使用し、 走行エネルギーを回収）	○	停止時には回生ブレーキは発生しない	◎
②機械ブレーキ （車輪への摩擦ブレーキ）	○	○	摩擦によりブレーキシューが過熱するため、連続的な適用は制約を受ける
③レール吸着あるいは圧着ブレーキ （レールへの直接吸着、圧着）	△ （粘着ブレーキは非常停止時も使用可）	○	強度的、熱的に、レール圧着ブレーキは連続使用できない

凡例 ○：必ず作用    ◎：必ず作用、登山鉄道では特に重要  
△：勾配での停車時、あるいは非常ブレーキ時に作用

## 2. LRT システム導入における課題整理（車両）

### 2.3 車両に関する課題の整理

#### （5）気象条件（特に冬期）に関する課題

- **低温によるバッテリー性能の低下**

-10℃環境下では常温時と比較し約2割程度の電圧降下（=容量低下）につながるとされている（例：電気自動車 ⇒ 寒冷地での航続距離が2割程度低下）

低温時に急速充電を行うとバッテリーの劣化につながることも指摘されている。

- **天候・凍結等による粘着係数低下**

降雪等により粘着係数が大幅に低下し、空転・滑走等の危険性が高まる。

（晴天時の半分以下。なお粘着係数は晴天時0.25、雨天時0.1~0.15程度である）

通常、電車においては、起動時の車輪－レール間の粘着（引張力/輪重）は20%を超えないよう計画するが、レール面上の汚れ、油などにより粘着限界を超えると、粘着が低下してさらに滑る悪循環となり、空転や滑走を引き起こすことになる。このため、空転・滑走を起こした場合に備え、通常、再粘着システムが装備される。低床LRTでもブレーキに通常の再粘着システムは装備される。

- **その他**

強風、紫外線など厳しい気象への対策が必要である。・強風による倒木：始業前点検、運行中の監視体制構築

落ち葉による車輪の空転：樹木の種類、実態調査を踏まえた重点対応時期の検討

## 3. LRTシステムに係る課題の検討

- 3.1 軌道に関連する技術的事項の整理（委員の指摘への対応）
- 3.2 車両に関連する技術的事項の整理（委員の指摘への対応）
- 3.3 車両メーカー・事業者へのヒアリング調査
- 3.4 軌道に関する課題の検討
- 3.5 車両に関する課題の検討

## 3.1 軌道に関連する技術的事項の整理 (委員の指摘への対応)

- (1) 路盤・路床の支持力
- (2) 急曲線と急勾配
- (3) 輪重・横圧の測定

## 3.1 軌道に関連する技術的事項の整理

### （1）路盤・路床の支持力

#### 【委員からのご指摘】

軌道変位はmm単位での管理が必要となります。富士山のような地質的に若い年代の堆積物の上に直結系軌道を敷設するための知見はほとんどないと思われるので、路盤・路床としての支持力については事前に十分な検討が必要と思われます。

#### 【回答】

既存資料では、富士スバルライン周辺の地質は、玄武岩溶岩とスコリアの互層と報告され、玄武岩溶岩は硬質であり、路床の支持層に適しているが、スコリア層はN値が20以下であり、路床としては適さないとしています。

- ・現在の富士スバルラインの道路の路床として特に問題は発生していない。
- ・スコリア層は、工事における適切な施工管理を行う事により、地盤沈下等が生じないとされている。

これら事項を参考に、軌道設計では事前に地質調査を行う必要があると考えています。なお、国内の路面電車では、土路盤に敷設する直結軌道が採用されている事例があります。

## 3.1 軌道に関連する技術的事項の整理

### (1) 路盤・路床の支持力

国内の路面電車では、併用軌道のバラスト軌道は、上部はアスファルト舗装を行うため、軌道保守にコストがかかるため、バラスト軌道の保守の軽減、軌道内の緑化などの理由から、重要な箇所には土路盤に敷設が可能な直結系軌道が採用されている。

したがって、今後は、地質調査結果、工事費用及び軌道保守等を考慮して、最適な軌道構造の配置を検討することが重要である。

表：自動車の乗り入れが可能な軌道の例

名称	断面図	特徴
バラスト軌道		バラスト軌道のアスファルト舗装した最も一般的な構造であり、軌道沈下に伴う補修が定期的に必要な。急曲線・急勾配箇所への敷設事例が多い。
接続軌道		プレキャストのPCスラブに締結装置でレールを取付ける軌道であり、幹線道路との交差点、踏切に多く使用されている。軌道沈下が生じ難く急曲線箇所への使用例も多い。バラスト軌道よりも整備費は割高となる。
樹脂固定軌道 (インファンド工法)		海外から技術導入された比較的新しい軌道であり、プレキャスト又は現場打設のRCスラブにレールを樹脂で固定する軌道構造である。急曲線にも対応している。バラスト軌道よりも整備費は割高となる。

### 3. LRTシステムに係る課題の検討（委員の指摘への対応）

## 3.1 軌道に関連する技術的事項の整理

### （2）急曲線と急勾配

#### 【委員からのご指摘】

ヘアピンカーブでは急曲線と急こう配が組み合わせられるため、走行安全性への影響が懸念されます。急曲線部ではこう配を設けないようにするなど、ある程度の縦断線形の改良は検討した方が良いように思います。

#### 【回答】

半径50m以下の6箇所について、現状道路線形変更なしでのこう配緩和を調査したところ、黄色マーキングの3箇所のかう配の緩和が可能でした。他3箇所含め、線形を慎重に検討していきます。なお道路供用中に工事を行う場合は、施工法の検討が必要と考えています。

NO,	キロ程	区分	項目	起点側 勾配と延長	曲線区間の 勾配と延長	終点側 勾配と延長	勾配変更の可能性
1	14.6km	14 k m地点 半径36m,65%	勾配(%)	53	65	48	終点側は曲線区間よりも緩勾配であり、勾配を55%に緩和が可能
			延長(m)	180	100	100	
2	17.3km	第1ヘアピン 半径30m,48%	勾配(%)	72	48	70	曲線区間の前後の勾配は緩勾配でなく、勾配変更は困難
			延長(m)	220	140	240	
3	18.2km	第2ヘアピン 半径29.5m,54%	勾配(%)	55	54	38	終点側は曲線区間よりも緩勾配であり、勾配を50%に緩和が可能
			延長(m)	320	140	160	
4	22.5km	第3ヘアピン 半径29m,47%	勾配(%)	49	47	32	終点側に大沢駐車場駅を予定している為、勾配の変更は困難
			延長(m)	220	200	80	
5	24.5km	第4ヘアピン 半径27.5m,44%	勾配(%)	52	44	42	曲線区間の前後の勾配は緩勾配でなく、勾配変更は困難
			延長(m)	220	120	180	
6	25.5km	第5ヘアピン 半径29.5m,51%	勾配(%)	36	51	54	起点側の勾配を変更し、曲線区間の勾配を44%に緩やかに変更が可能
			延長(m)	180	200	240	

### 3. LRTシステムに係る課題の検討（委員の指摘への対応）

## 3.1 軌道に関連する技術的事項の整理

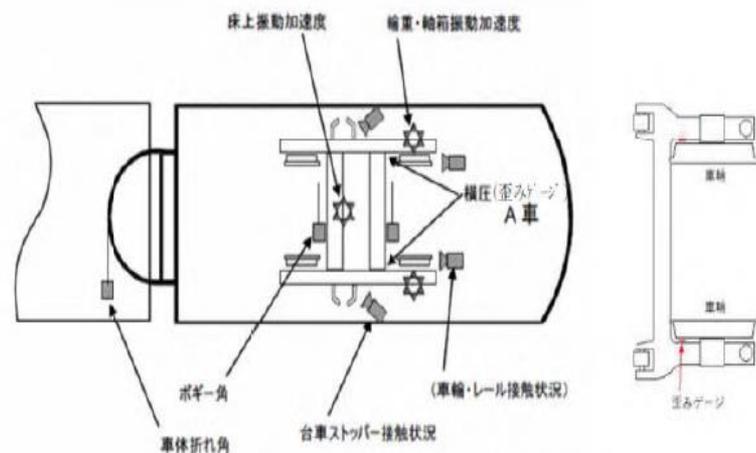
### （3）輪重・横圧の測定

#### 【委員からのご指摘】

適切に走行安全性を評価するため、導入するLRT車両の構造に対応した輪重・横圧の測定方法については事前に十分に検討しておく必要があると思います。

#### 【回答】

輪重・横圧の測定は、車輪又はレールの歪みの測定で可能と考えています。最近の宇都宮芳賀ライトレール線の脱線事故の原因調査では、輪重・横圧、台車走行時の状態等を測定しているが、これらの事例などを参考に試運転時に測定を行い、安全の確認が必要と考えています。



図：測定機器の配置及び測定結果の例

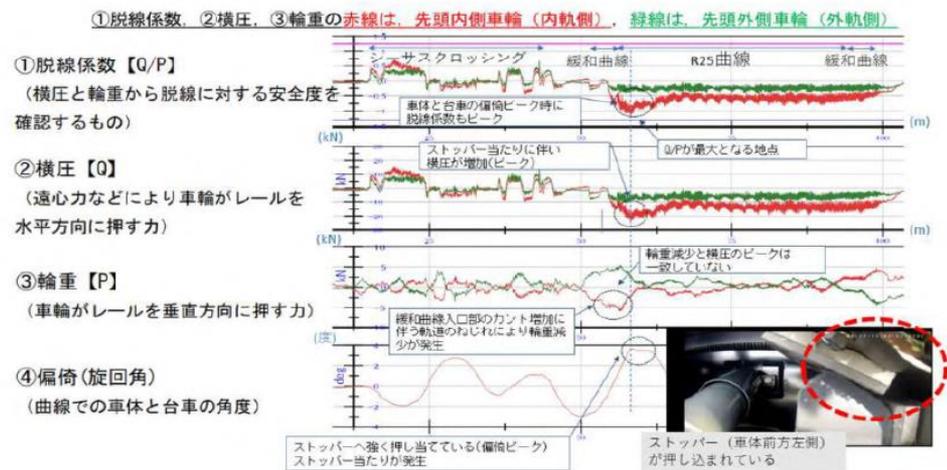


図 25 パターン 8 (5km/h) の測定結果

東京大学 須田教授の発表資料から引用

## 3.2 車両に関連する技術的事項の整理 (委員の指摘への対応)

- (1) バッテリー駆動の可能性
- (2) 鉄車輪の粘着
- (3) 第三軌条と混合輸送の関係
- (4) 第三軌条による連続集電
- (5) 第三軌条による充放電
- (6) 車両の仕様
- (7) 第三軌条の実現性

## 3.2 車両に関連する技術的事項の整理

### （1）バッテリー駆動の可能性

#### 【委員からのご指摘】

車上バッテリーと第三軌条の併用によるエネルギーマネジメントには合理性あり。  
軽量車両による完全なバッテリー駆動の可能性も模索する必要もあろう。

#### 【回答】

箱根登山鉄道3000形（長さ14.6m、空車35.6トン、座席36人）の屋根上バッテリー駆動を仮定し、検討を進めたところ、平均勾配50%の上り勾配の場合、走行距離10km程度が限界（右に概略計算を示す）でした。

すなわち、山麓から五合目まで30km弱を途中ででの充電なしでの登坂するには、将来のバッテリーの飛躍的な蓄積エネルギーの高密度化を待たなければなりません。

一方、電車の軽量化については、例えば箱根登山鉄道3000形の場合は台車だけで3.5トン（電動台車）あり、その構成上、鉄道車両のバス並みの軽量化は困難と考えられます。

#### 《走行距離 概略計算》

箱根登山鉄道3000形（長さ14.6m、空車35.6トン、座席36人）を屋根上バッテリーで駆動すると仮定し、座席定員時（60kg/人）の車両重量を40トン、平均勾配50%、平均速度30km/hと仮定すると、勾配抵抗19.6kN、走行抵抗3.6kNゆえ、車輪等踏面出力Pwは、

$$P_w = (19.6 + 3.6) \times 30 / 3.6 = 193 \text{ kW/車}$$
電車の総合効率0.85、補機電力を40Wとして、入力電力Pinは、

$$P_{in} = 193 / 0.85 = 227 + 40 = 267 \text{ kW/車}$$
一方、屋根上（14m長）に搭載可能なバッテリー容量は、低温時の電圧降下、SOC下限30%として、約100kWh。したがって、時速30km/h、勾配5%での走行距離は、およそ  
$$(100 / 267) \times 30 = 11 \text{ km}$$

※上記のバッテリーは、新幹線700Nなどで非常走行用車載バッテリーで実績のある、リチウム・イオン・バッテリー（東芝SCiB）を想定。

## 3.2 車両に関連する技術的事項の整理

### （2）鉄車輪の粘着

#### 【委員からのご指摘】

本路線への鉄車輪の粘着による推進・制動方式の採用には技術的困難を感じる。鉄輪を用いるにしても、箱根登山鉄道のようなスイッチバックなど急勾配に強い方式を考えるか、ラックレール式、鉄輪リニア方式（仙台市東西線など）あるいは、Padov市のTranslohr Nancy市のLVRなどのゴムタイヤ支持のガイド式電気バス？ゴムタイヤ式LRT？などの実績ある方式を真剣に参考とすべきと考える。

#### 【回答】

箱根登山鉄道の最急勾配は80%。他方、スバルラインは料金所近辺で最急勾配88%なるも距離は百数十メートルで、オールM車であれば粘着15%程度で登攀可能と考えられます（右）。更に増粘着が必要な場合は、セラジェットを使用します。スイッチバックの採用は複線化の障害に加え、運転間隔の延長につながるので、できれば避けたいと考えます。一方、ラック式、鉄輪リニアは非常時の自動車軌道面走行には検討が必要です。また、トランスロール、TVRは1本のガイドレールに頼る操舵機構に不安があり、導入には慎重な検討が必要です。（次ページ参照）

#### 《粘着 概略計算》

箱根登山鉄道3000形（長さ14.6m、空車35.6トン、座席36人）を屋根上バッテリーで駆動すると仮定し、座席定員時（60kg/人）の車両重量を40トン、出発抵抗30N/トンとして、勾配88%において、加速度0.5m/s/sで起動するためには、

引張力Fは

$$F = 40 \times 1000 \times 0.5 + 40 \times 88 \times 9.81 + 30 \times 40 = 55.7 \text{ kN/車}$$

粘着 $\mu$ は、

$$\mu = 55.7 / (40 \times 9.81) = 0.142$$

となり、インバータ駆動電車においては、通常の粘着レベルといえる。

### 3. LRTシステムに係る課題の検討（委員の指摘への対応）

## 3.2 車両に関連する技術的事項の整理

### ラック式/鉄輪リニア軌道

軌道中央にラック、あるいはリアクション・プレートを敷設するため、非常用/業務用自動車の走行の妨げになることが懸念される。

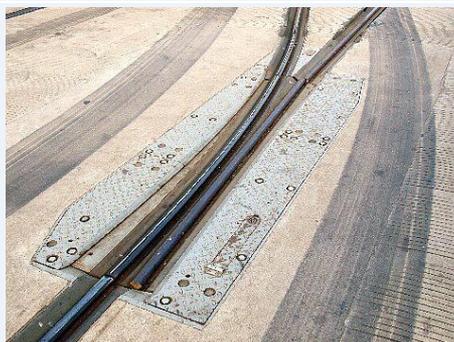
旧・碓氷峠、大井川鉄道井川線、ユングフラウ鉄道等スイス山岳鉄道、/都営地下鉄大江戸線、横浜市営地下鉄グリーンライン、などで導入。



### トランスロール

仏・ロール社により開発されたゴムタイヤ・トラムで、クレルモンフェラン、パドバ、天津などに導入された。

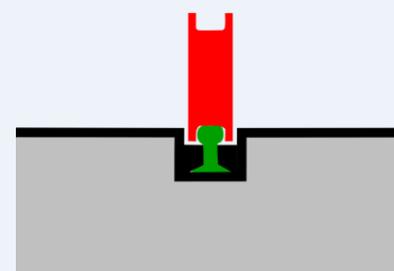
一条案内レールを2つの案内輪で挟み、操舵をおこなう。日本でも、三井物産が堺に試験線を設けた（後に撤去）。



### TVR

ボンバルディア社により開発されたゴムタイヤ・トラムで、仏・ナンシー、カーンに導入された。

一条案内軌条に1つの案内車輪で操舵をおこなう。脱線、車両同士の接触事故などにより、後に連接バス、LRVに置換え。



## 3.2 車両に関連する技術的事項の整理

### （3）第三軌条と混合輸送の関係

#### 【委員からのご指摘】

単線行き違いという方式ならば、回生と力行を時間的に重ねることは不可能なので、かなり大きなエネルギー蓄積素子（バッテリー）を要するであろう。そのため、単線を仮定すれば車上に大容量バッテリーを持つことは必須となろう。ただし、生活に必要な自動車との混合輸送であれば、単線での上下列車の同期をとった運行はそもそも困難が大きい。そのため、単線案には運用上の問題が大きいと考える。

#### 【回答】

本登山鉄道構想の前提は、自動車との混合輸送でなく、あくまで鉄道専用で、例外として、第三軌条への給電を遮断した状態で、非常用車両が軌道上を走行すると理解しています。

## 3.2 車両に関連する技術的事項の整理

### （4）第三軌条による連続集電

#### 【委員からのご指摘】

第三軌条による連続集電は、蓄電池設備（電池やキャパシタ）などを抜本的に減少させ、SDGsの観点からは飛躍的に優位であり、鉄道システム（=LRT）を採用する利点ともなるので、導入の可能性とデザインを検討した方がよい。

#### 【回答】

第三軌条からの連続集電は、実績もあり、確立した技術です。ただし、下り勾配区間では抑速ブレーキが必須のため、（複線を前提として）上り勾配を走行する車両との同期運転の他に、地上側に回生エネルギー吸収のため、地上側に蓄電設備（東芝TESS、川重BPSなど）、あるいは放熱設備を設けることが望ましいです。

## 3.2 車両に関連する技術的事項の整理

### （5）第三軌条による充放電

#### 【委員からのご指摘】

安全上などから、第三軌条を全線に設置することが難しい場合は、途中駅も含め、部分的に設置し、その区間で充放電することも考える

#### 【回答】

車両運動が複雑となるヘアピン・カーブ、登山客の安全確保が望ましい駅近傍などでは第三軌条を省略し、車上バッテリーでの走行が望ましいと考えます。

### （6）車両の仕様

#### 【委員からのご指摘】

軌間など日本特有の仕様を採用すると、海外事業者の応札が少なくなり、費用高騰を招く恐れあり。海外の一般的な仕様も把握したうえでの仕様決定が必要

#### 【回答】

軌間は車両の横風対策からも、狭軌よりは標準軌(1,435mm)の採用が好ましいと考えられます。その他の仕様についても、実績を重視し、WTO対応の観点から海外の規格、事例を踏まえた対応が望まれます。

次期検討として、海外メーカーへの具体的な問い合わせも考慮いたします。

## 3.2 車両に関連する技術的事項の整理

### （7）第三軌条の実現性

#### 【委員からのご指摘】

第三軌条方式とする案が有力になっていますが、少なくとも国内ではLRTでの実績はないと思われるのと、自動車の走行位置に制約が生じると思われるので、実現性および運用については慎重な検討が必要と思います。

#### 【回答】

スバルラインを単線軌道化した場合、LRT運転停止後に緊急自動車も走行するため、第三軌条は道路の外側に、可能な限り道路中心から離して設置することになります。

複線整備の場合、次ページの図から第三軌条を設置できる最小の道路幅員は6,400mm程度、すなわち道路中心から3,200mmです。一方、次々ページに示す代表的な地下鉄の建築限界図から、道路端から第三軌条設置部端（内側）までは、およそ400mmとなるので、自動車の走行可能な道路幅は道路中心から最小で $3,200-400=2,800$ mmです。

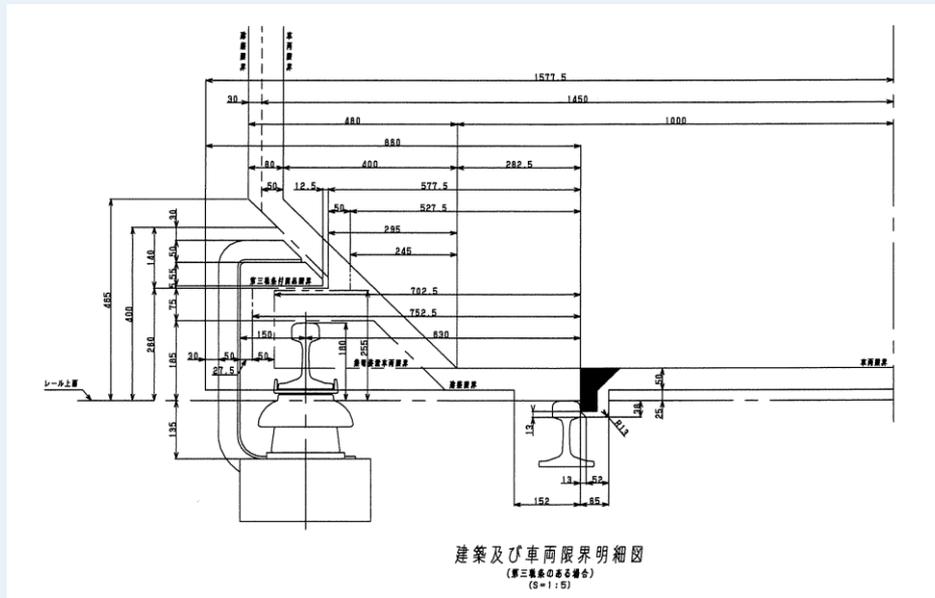
### 3. LRTシステムに係る課題の検討（委員の指摘への対応）

## 3.2 車両に関連する技術的事項の整理

### （7）第三軌条の実現性

【回答】

代表的な地下鉄の第三軌条位置



【回答】

富士山登山鉄道構想より（21ページ）



## 3.3 車両メーカー・事業者へのヒアリング調査

- (1) 車両メーカーへのヒアリング結果
- (2) 鉄道事業者へのヒアリング結果

### 3. LRTシステムに係る課題の検討（ヒアリング）

## 3.3 車両メーカー・事業者へのヒアリング調査

### （1） 車両メーカーへのヒアリング結果

国内車両メーカー9社、海外車両メーカー3社にヒアリングシートを送付し、車両開発に関する技術的課題について以下のヒアリングを実施した。

2024年2月末現在の回答状況は下記の通りである。

国内メーカー：5社/9社（内、2社は追加ヒアリング済）

海外メーカー：1社/3社

#### 富士山登山鉄道構想 技術ヒアリングシート記入のお願い

さて、弊社・日本工営は、先般山梨県よりLRTを基本とした富士山登山鉄道実現のための技術検討を受託し、調査の一環として、有識の鉄道車両メーカーおよび鉄道エンジニアリング会社様より、実現に向けてのご意見を求めています。実情ではおぼろげですが、以下に概要を示す本計画に関し、技術面からのコメントを聞かせていただくと有難く存じます。

なお、本ヒアリングシートの返送期日は**令和6年1月31日(水)**とさせていただきます。

#### 質問1 記入者の所属・ご氏名・連絡先

所属会社	
所属組織名	
記入者のご氏名	
記入者のE-mail アドレス	

#### 質問2 富士山登山鉄道用の車両開発の技術的課題

2-1 地形に関する事項  
登山鉄道(LRT)は富士山の既設道路(富士スバルライン)への敷設を検討しています。軌道線形の検討は今後詳細に行う予定ですが、車両開発の観点から急勾配・急曲線への適用で懸念する事項やご意見がありましたら、ご教授お願いします(自由記載)

検討が必要と思われる事項  
急勾配における登坂性能、急勾配における制動性能、急曲線における通過性能

2-2 気象に対する事項  
登山鉄道(LRT)は富士山の既設道路(富士スバルライン)への敷設を検討しています。厳しい気象条件(冬期積雪・凍結、強風)に対応できる車両の開発が必要と考えられますが、車両開発の観点から懸念する事項やご意見がありましたら、ご教授お願いします(自由記載)

検討が必要と思われる事項  
安全な運行、維持管理性

2-3 給電方式・架線レスについて  
登山鉄道(LRT)は、富士山の景観への配慮から架線レスが望ましく、バッテリーや軌道3軌条やこれらの組合せを検討しています。これらの電源システムについて車両開発の観点から懸念する事項やご意見がありましたら、ご教授お願いします(自由記載)

検討が必要と思われる事項  
バッテリー駆動の容量、組合せの方式、安全性

2-4 富士山登山鉄道用の車両を新たに開発する期間・費用  
新たな車両開発に一般的に要する期間・開発費用について概略でご教授お願いします。また、富士山登山鉄道用の車両を想定した場合の期間・開発費用についてもコメント頂きたいをお願いします。(自由記載)

2-5 その他の車両開発上の課題  
その他の車両開発の観点から懸念する事項やご意見がありましたら、ご教授お願いします(自由記載)

検討が必要と思われる事項  
乗客の快適性、低床・高床性の可否、鉄輪/ゴムタイヤの可能性、制御方式

#### 質問3 富士山登山鉄道用の車両開発の事業参加について

3-1 富士山登山鉄道(LRT)に御社が対応する可能性について  
富士山登山鉄道(LRT)については構想検討段階ではありますが、仮にLRT等で具体的開発が開始した場合の御社の関心については以下の4択で教えてください。  
(1) 参入の意欲があるもしくは高い関心がある。  
(2) 条件しただけで、関心はある。  
(3) 現段階では判断が難しい。  
(4) 全く関心がない。

3-2 富士山登山鉄道(LRT)に御社が対応すると想定した場合の課題  
3-1の回答の理由を含め、開発・製造の費用、開発・製造の期間、開発・製造の体制など多様な課題についてご意見をご教授ください(自由記載)

検討が必要と思われる事項  
開発・製造の費用、開発・製造の期間、開発・製造の体制

#### 質問4 追加ヒアリングの可否

4-1 追加ヒアリングの可否について  
本ヒアリングシートの実施後に改めて追加ヒアリングをさせて頂く可能性があります。これらの追加ヒアリングの可否をお答えください。  
(1) 追加ヒアリングを受けてもよい  
(2) 追加ヒアリングはお断りする

4-2 追加ヒアリング可の場合のご連絡先  
追加ヒアリング可の場合のご連絡先をご教授ください。

所属会社	
所属組織名	
追加ヒアリング先のご氏名	
追加ヒアリング先のアドレス	
追加ヒアリング先のお電話番号	

#### 質問5 その他のコメント・ご意見があれば以下にご記入ください。

その他自由記述欄

会社名	回答
A社	◎
B社	◎
C社	○
D社	○
E社	○
F社	×
G社	—
H社	×
I社	×
J社 (海外)	○
K社 (海外)	—
L社 (海外)	—

◎ : 追加ヒアリング、○ : 回答受領、  
× : 回答辞退、— : 返答なし

## 3.3 車両メーカー・事業者へのヒアリング調査

### （1） 車両メーカーへのヒアリング結果

① 地形に関する事項 ～車両開発の観点から急勾配・急曲線への適用で懸念する事項や意見～

#### （回答） 〈急勾配〉

- 登坂性能や制動性能の課題（最大88%の急勾配）
- 日本における縦断勾配の最大値は60%（宇都宮）であり、60%以上の勾配については実車での試験が必要。（鉄輪の場合、一般的な粘着係数と車両性能を考慮し、35%程度の勾配を限度としている）
- 急勾配の登坂時(救援運転含む)を考慮した大容量のインバータ・モータの搭載が必要。（車両質量増や機装検討が困難となる）
- 平均52%の下り勾配を24.1km走行することに対応するブレーキ方式については慎重な検討が必要。急勾配の降坂時に備え、ブレーキシステムの確保や、回生失効に備えた対策が必要。

#### 〈急曲線〉

- 通過性能の課題（R27.5mの急曲線）
- 急曲線は車両の特性によって対応可能な最小曲線が決まる。
- 鉄輪の一般的な最小曲線：300m程度に見合った路線計画が必要。
- 急曲線に対応した幌及び連結器の対応、急曲線での救援連結の評価が必要。
- 台車：軸距及び空気ばねの旋回評価、曲線通過時の軋り音、車輪フランジ摩耗に対する評価が必要。

#### 〈急勾配と急曲線の競合部〉

- 急勾配と急曲線競合の場合は、急勾配対策を前提に、走行可能な急曲線の諸元を検討し、その急曲線の諸元や車両性能の妥当性を確認する実車走行試験が必要。
- 単車（単編成）での走行のほか、救援に関しても試験は必要。曲線通過では速度に依存し、乗り上がり脱線あるいは転覆脱線などの危険性があることから、車両走行時の車輪とレール間に作用する輪重・横圧の測定試験などでの確認において走行速度を決めるなど慎重な対応が必要。
- 富士スバルライン5合目付近の森林限界を抜けたエリアにおける落石や雪崩に対する車両側での対応についても、検討が必要。

#### （課題に対する方針・見解）

- 車両開発では、実車での試験が必要であり、このための急勾配・急曲線などの制約条件を整理する必要がある。

### 3. LRTシステムに係る課題の検討（ヒアリング）

## 3.3 車両メーカー・事業者へのヒアリング調査

### （1） 車両メーカーへのヒアリング結果

#### ② 気象に対する事項

厳しい気象条件（冬期積雪・凍結、強風）に対応できる車両の開発の観点から懸念する事項や意見

#### （回答）

- 気温に関しては、2012年～18年の平均最高、最低気温を確認すると、最低気温での機器の作動、留置確認が必要。
- 強風に関しては、LRVの特徴として屋根上に機器を搭載するので重心が上がり配慮が必要。また強風による木の葉などの飛散による摩擦の減少による脱線への配慮も必要。
- 凍結、積雪に関しては、凍結による摩擦の減少や積雪、圧雪におけるレール面の認識不良による脱線に配慮が必要。

- 雪・凍結・強風など富士山ならではの厳しい気象条件を踏まえると、車体・台車・機器類に対し、どこまで配慮が必要か（例えば、雪かき装置の要否、機器の仕様（仕様温度、結露への配慮）、凍結時の急こう配での走行成立性）懸念があり、慎重な検討や検証を行う必要があると考える。また、夏季は激しい落雷に対する車両機器への配慮も必要になる可能性がある。

⇒ 極寒耐寒・耐雪構造の適用検討環境条件に見合った車両電気品の設計が必要。



参照：千歳町電停付近で市電が脱線（函館新聞）

#### （課題に対する方針・見解）

- いずれのメーカーも当該気象条件に対応するためには、新たな車両電気品の設計が必要との意見であった。
- とくに、脱線防止の観点からレール面の凍結の対応が不可欠である。
- 雪・凍結・強風などの厳しい気象条件下で、車体・台車・機器類に対し、どこまで配慮が必要かを整理する必要がある。

## 3.3 車両メーカー・事業者へのヒアリング調査

### （1） 車両メーカーへのヒアリング結果

#### ③ 給電方式・架線レスについて

バッテリーや第三軌条やこれらの組合せなどの電源システムについて車両開発の観点から懸念する事項や意見

#### （回答）

- 急勾配の登坂に見合った登坂力確保と、（異常時を含めた）降坂時のブレーキ力確保（機械、電気）が必要。
- 車両性能を確保する機器を搭載した場合、車両重量への影響もある。
- 気象や地形を考慮した給電システムおよび電池の開発が必要と考える。
- それらの機器搭載スペースも考慮が必要。
- 雪やなだれ等の影響があるなか第三軌条方式を採用した場合、安定給電や安全性の観点で十分な配慮が必要になることが考えられる。

#### （課題に対する方針・見解）

- バッテリーや第三軌条やこれらの組合せによりシステムを構築した場合、艤装機器類が増える方向となる。

## 3.3 車両メーカー・事業者へのヒアリング調査

### （1） 車両メーカーへのヒアリング結果

#### ④ 富士山登山鉄道用の車両を新たに開発する期間・費用

新たな車両開発に一般的に要する期間・開発費用について（富士山登山鉄道用の車両を想定した場合も含む）、バッテリーや第三軌条やこれらの組合せなどの電源システムについて車両開発の観点から懸念する事項や意見

#### （回答）

- ▶ 通常の新形式車両製作工程は、設計から納車まで4年程度。これに加えて開発を伴うものであれば、設計着手前に開発期間（数年程度）が必要。さらに定置検証だけでなく、フィールド検証が必要となれば、+αの期間を要す。技術的な懸念要素が多く、車両成立の見通しが立っていないため、開発期間や見積の積算はできない。
- ▶ 富士山登山鉄道における件に関しても、各機器においては試験においてトライ&エラーでの仕様確立をしていくものと考え、車両以外の期間や費用も要する。

#### （課題に対する方針・見解）

- ▶ 全く新たな車両開発となるため基本的事項の整理が必要であり、現時点では費用・期間を概算することは難しい。

#### ⑤ その他の車両開発上の課題

#### （回答）

- ▶ メーカー立場から、市場ニーズ、規模感、継続性の確保が事業の取組可否に当たって重要なファクターとなる。
- ▶ いずれにしても実績のない地形、環境などの要素があれば、実車や単品での試験が必要。
- ▶ 国立公園、世界遺産における規制、国、自治体における規制、周辺住民の意見などハード以外への配慮も十分必要。
- ▶ 路面電車の車両数が限られているため、世界中でごく限られた用途のためにLRT車両の開発に投資することに消極的。

#### （課題に対する方針・見解）

- ▶ 市場ニーズ、規模感、継続性の確保を示す必要があり、周辺住民の意見などソフト面の配慮も必要である。

## 3.4 軌道に関する課題の検討

- (1) 急勾配に対する登坂・降坂性
- (2) 急勾配・急曲線の競合
- (3) 気象条件に対する配慮
- (4) 軌道管理における自動車乗り入れ、地盤の安定性についての検討

## 3.4 軌道に関する課題の検討

### (1) 急勾配に対する登坂・降坂性

スバルラインは平均勾配52%、最大88%の急勾配の縦断線形を有しており、車輪が空転せずに、車両が安定して走行が可能か？確認する必要がある。

### (2) 急勾配・急曲線の競合

スバルラインには急勾配・急曲線が競合する箇所が複数あり、これらの箇所では車輪の空転だけでなく、脱輪のリスクも併せて検討する必要がある。

## 3.4 軌道に関する課題の検討

### (1) 急勾配に対する登坂・降坂性

#### 勾配と粘着係数を変えた車両走行シミュレーション-1

##### シミュレーションの条件と検討ケース

車両が急勾配を安定して走行が可能か否かを以下の条件で確認する。

##### (シミュレーションの方法と評価方法)

勾配条件、車両の重量及び加速状態から車両走行に必要な粘着係数の最小値を求め、期待できる車輪・レール間の粘着係数と比較し、車両走行に必要な粘着力係数が確保されるか否かを判断する。

##### (シミュレーションの検討ケース)

シミュレーションは、1)勾配箇所での停車した車両の発進、2)中位速度(30km/h)の加速走行、3)高速度(50km/h)時の定速走行の3ケースとする。

##### (車輪・レール間の粘着係数)

通常時の粘着係数は、一般に用いられている0.245(旧鉄道建設公団のマニュアル)を、降雨時の粘着係数は、列車の場合は雨水の飛散を考慮して計算を省略するが、本検討は1車両の走行を想定し、危険側に考慮して文献を参考に粘着係数を0.15とする。なお、粘着係数は走行速度に依存し減少する事から、次式で補正する。 $\mu = (\mu_0) * ((1 + 0.05V) / (1 + 0.1V))$   $\mu$  ; 補正粘着係数  $\mu_0$  ; 粘着係数  $V$ ; 列車速度(km/h)

##### (車両加速性能と重量)

車両は、箱根登山鉄道で実績のあるクモハ3000形とする。車両は1車両が単独で走行し、最高速度55km/h、常用加速度1.11m/sec、空車重量35.6ton、車両定員75人である。重量の条件は、空車重量に乗客数が満車に相当する定員の250%を考慮して総車両重量46.9tonとする。なお、荷重のかかり方については2連結の場合でも荷重のかかり方は同一である。

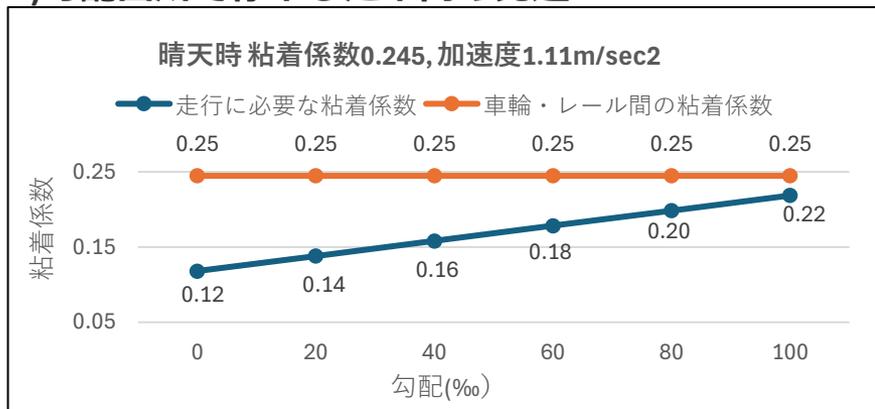
### 3. LRTシステムに係る課題の検討

## 3.4 軌道に関する課題の検討

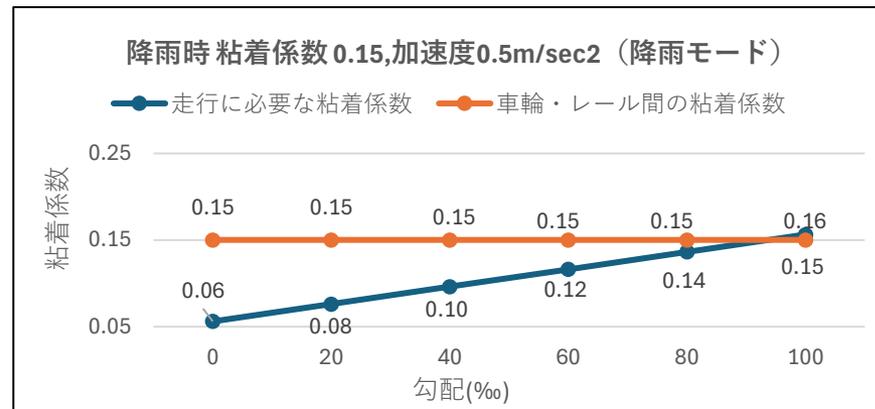
### (1) 急勾配に対する登坂・降坂性

#### 勾配と粘着係数を変えた車両走行シミュレーション-2

##### 1) 勾配箇所で停車した車両の発進

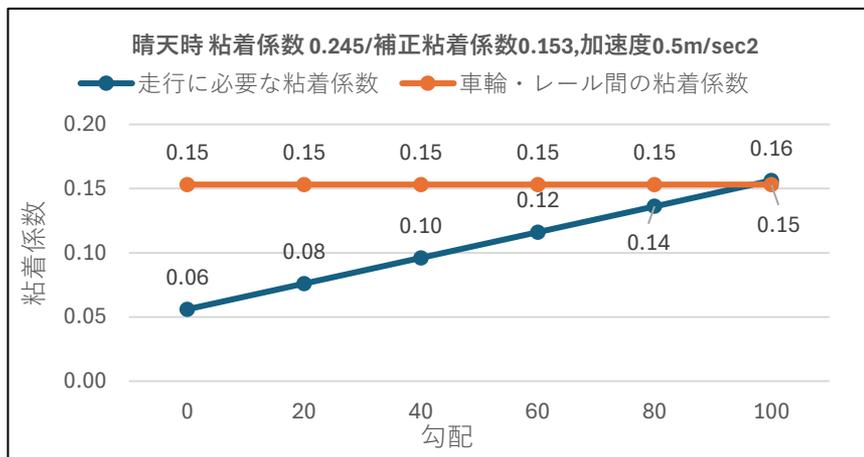


車両の発進に勾配の影響を受けない。

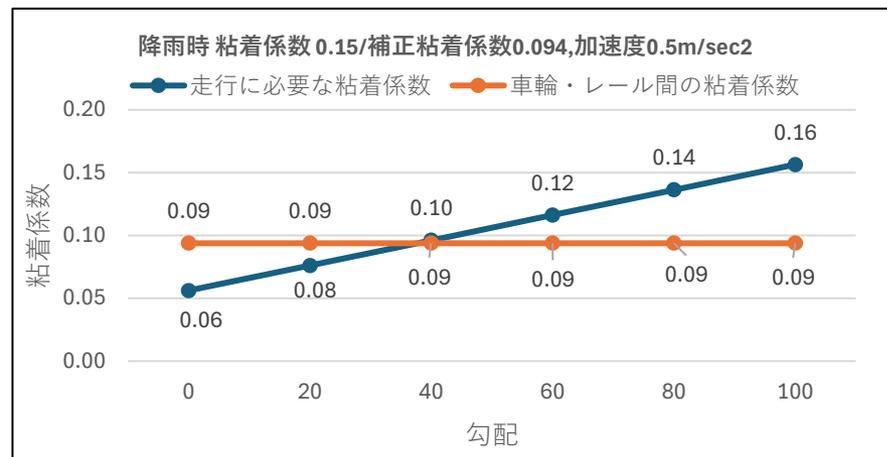


降雨時には発進時の加速度を抑えた運転が必要となる。

##### 2) 中位速度(30km/h)の加速走行



車両の加速に80%以下は勾配の影響を受けない。



降雨時では40%以上で車輪が空転して加速は困難となる。

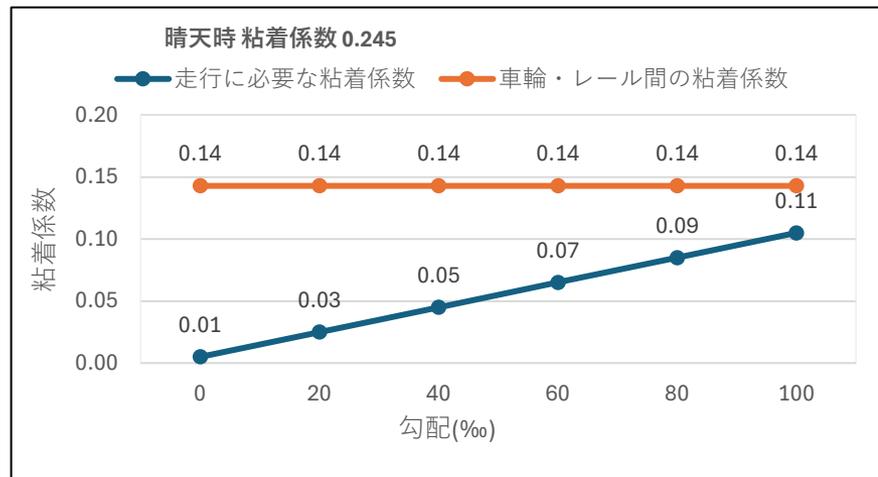
### 3. LRTシステムに係る課題の検討

## 3.4 軌道に関する課題の検討

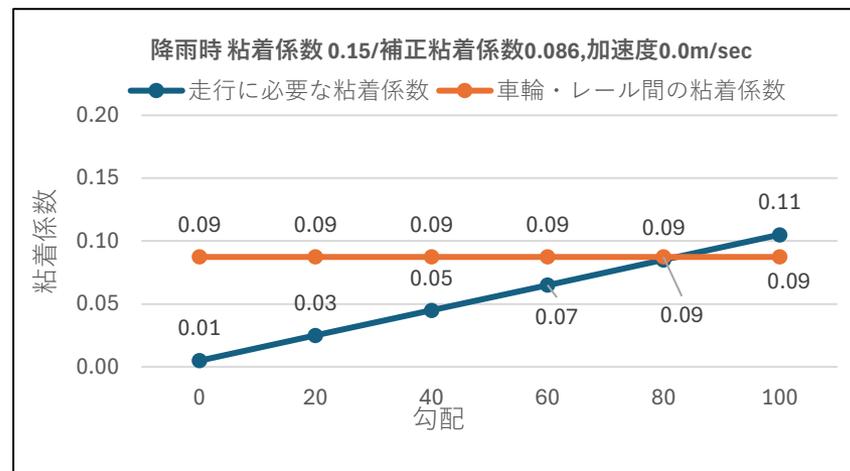
### (1) 急勾配に対する登坂・降坂性

#### 勾配と粘着係数を変えた車両走行シミュレーション-3

#### 3) 高速度(50km/h)時の定速走行



車両の定速走行は可能である。



勾配が80%を超えると定速走行は困難となる。

#### 4) シミュレーション結果の考察

上記の3ケースの結果を整理すると、次のとおりである。

- 晴天時の車輪・レール間の粘着係数が0.245、車両乗客が満車(混雑率250%)の条件では、勾配箇所の発進、加速及び定速走行に必要な粘着係数が確保でき、安定した走行が可能である。
- 雨天時を想定した車輪・レール間の粘着係数が0.15の場合、勾配箇所の発進、定速走行は概ね確保されるが、40%以上では車輪が空転して加速が困難となる可能性がある。

このため、急勾配箇所のブレーキ制動の課題も含め、増粘着材散布装置等の導入の検討が必要である。

### 3. LRTシステムに係る課題の検討

## 3.4 軌道に関する課題の検討

### (2) 急勾配・急曲線の競合

#### (勾配と曲線)

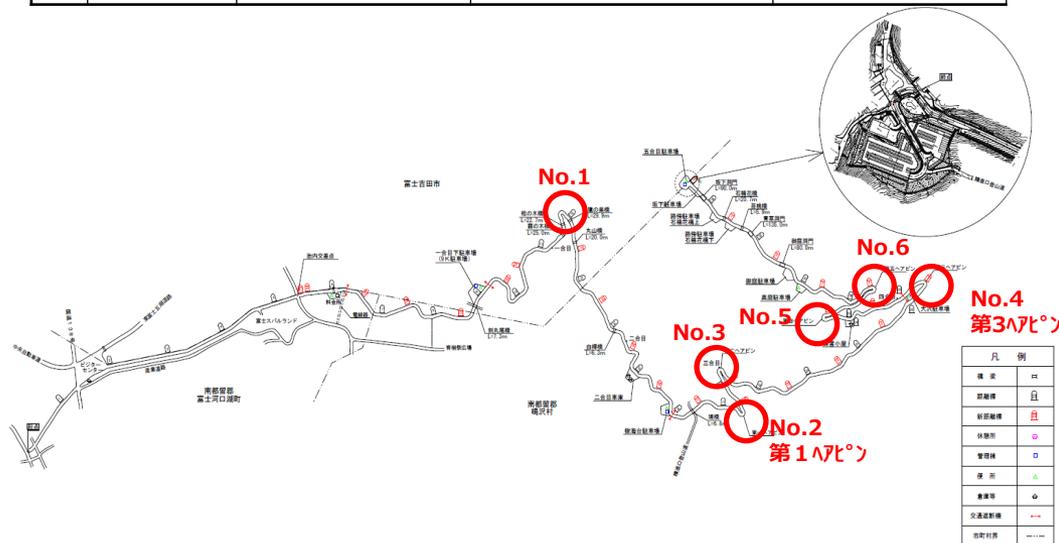
曲線部については走行時の曲線抵抗として次式で勾配に換算して勾配に加える換算式が提案されている。

換算勾配式  $i = 600/R$  ここで、 $i$ ；換算勾配（‰）、 $R$ ；曲線半径(m)

No.	キロ程	名称	半径・勾配条件	換算勾配考慮
1	14.6km	14 k m地点	半径36m,65‰	81.7‰
2	17.3km	第1ヘアピン	半径30m,48‰	68.0 ‰
3	18.2km	第2ヘアピン	半径29.5m,54‰	74.3‰
4	22.5km	第3ヘアピン	半径29m,47‰	67.7 ‰
5	24.5km	第4ヘアピン	半径27.5m,44‰	65.8 ‰
6	25.5km	第5ヘアピン	半径29.5m,51‰	71.3 ‰

左表のとおり、スバルラインの急勾配・急曲線の競合箇所を上記の換算勾配を考慮しても、スバルラインの最大勾配88‰を超過しない。

しかし、上記の換算式は通常の鉄道での適用を想定したものであり、より慎重な検討が必要であるとともに、これらの急勾配箇所については、車輪の空転だけでなく、車輪の乗り上がり脱線の検討も必要である。



# 3.4 軌道に関する課題の検討

## (2) 急勾配・急曲線の競合

### 乗り上がり脱線について

急曲線部における乗り上がり脱線は、内軌側の車輪/レール間に作用する横圧が大きくなり、その結果外軌側車輪フランジが外軌を乗り越えることで発生する。その横圧は車輪/レール間の粘着係数(実験結果よりレール動摩擦係数の80%程度)に依存する。粘着係数の変動はレール動摩擦係数と同様に気象条件や走行回数などによって大きく変化することが知られている。

#### 【車輪/レール間の摩擦係数の実態】

鉄道総研ではレール摩擦測定器を使用して、様々な状況下におけるレールの車輪走行面の動摩擦係数を計測している。下図は動摩擦係数に最も影響が大きいと考えられる車輪通過頻度をパラメータにした比較結果であるが、走行頻度が高いと動摩擦係数が大きくなること、また走行頻度のバラツキの影響も含めてではあるが、動摩擦係数の変動範囲が非常に広いことがわかる。

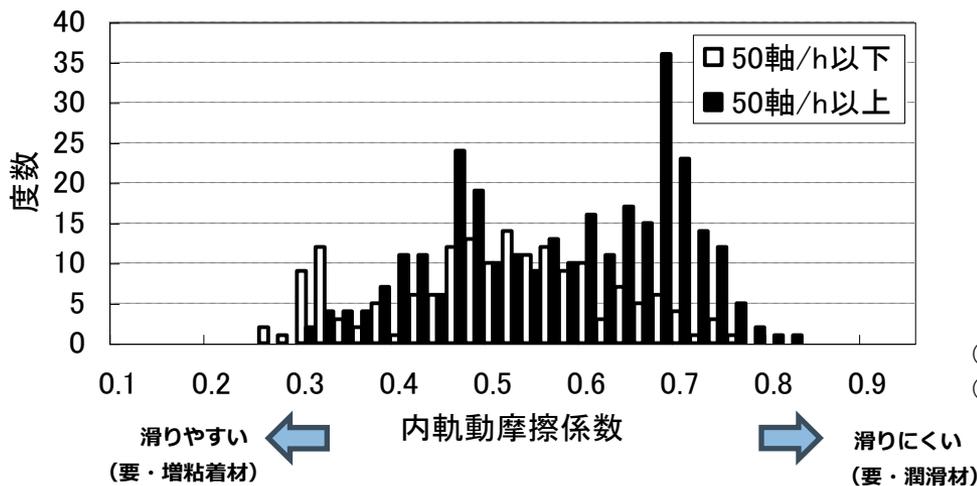
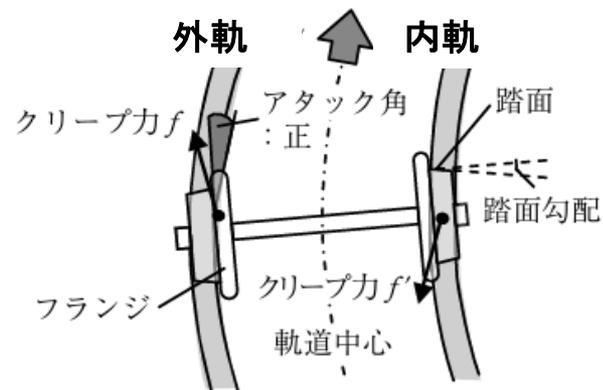
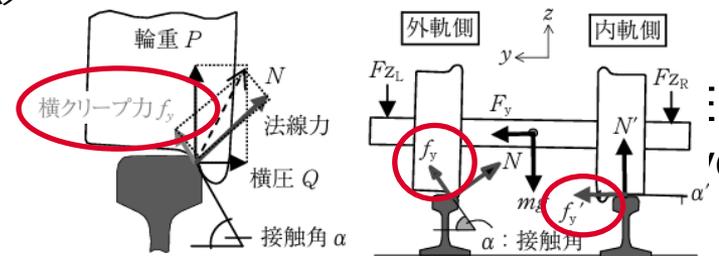


図1：実際の摩擦係数の計測結果

増粘着材あるいは潤滑材を用いない場合の内軌(曲線内側レール)動摩擦係数(電化線区)



○ 着目すべき横圧関連作用力



鉄道車両の乗り上がり脱線防止対策  
石田弘明 精密工学会誌Vol.75, No.3.2009

- ① 様々な状況下における動摩擦係数の変動範囲は広い。
- ② 50軸/h以上が50軸/h以下より(車輪通過頻度が高いと)内軌動摩擦係数は大きい。

## 3.4 軌道に関する課題の検討

### (2) 急勾配・急曲線の競合

#### 乗り上がり脱線について

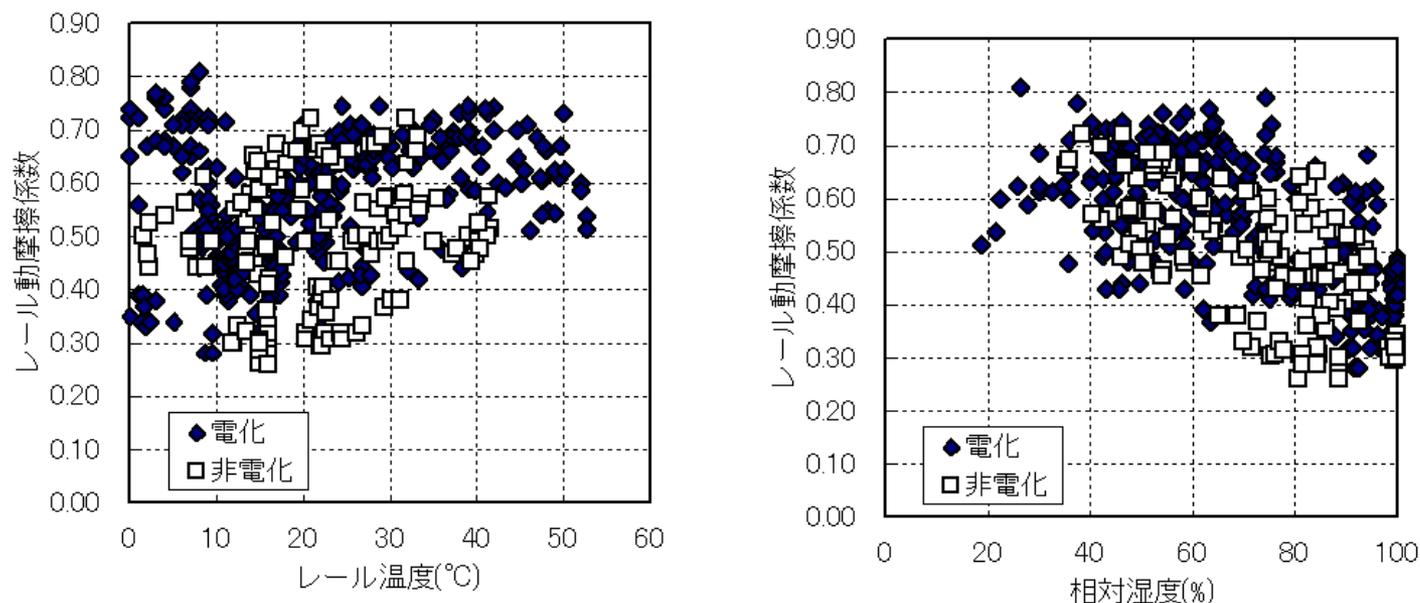


図2：レール温度と相対湿度の内軌動摩擦係数への影響（参考）

図2では、測定範囲において、曲線内側レール(内軌)動摩擦係数への気象条件の影響として、相対湿度が高いと内軌動摩擦が低くなる傾向があるが、レール温度の影響については相関が見受けられず、バラツキが大きい。また、現状は0℃以下のデータはない。このため、車両設計においては冬季のスバルライン環境下でのデータ取得・分析が不可欠である。

また、一般には通勤電車の車両性能は粘着係数0.1～0.2程度(雨天時を想定)で計画されているが、スバルラインでは急勾配と急曲線が競合しており、車両に求められる性能についても冗長性や安定性を向上する粘着係数の適切な設定(増粘着対策)が重要である。

### 3. LRTシステムに係る課題の検討

## 3.4 軌道に関する課題の検討

### (2) 急勾配・急曲線の競合

#### ① 急勾配部における課題と対策

急勾配部については、想定する車両走行条件における車輪とレール間の計画粘着係数と装備すべき車両性能の最適化を図る上で、粘着係数の増大方策は重要な検討課題であると考えられる。

【対策】内外軌車輪レール間の増粘着材散布(噴射装置設置)

急こう配の登坂力とブレーキ力を増強するために、車輪/レール間の粘着係数の増大を図る増粘着材を内外軌の頭頂面と車輪踏面間に散布する。

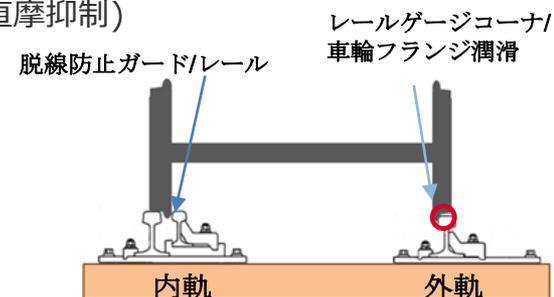


#### ② 急曲線部における課題と対策

急曲線部においては、高い粘着係数は乗り上がり脱線を引き起こしやすいことから、急曲線における走行安全性を確保し、且つ急勾配における登坂力とブレーキ力を増強する方策として以下が考えられる。

【対策】脱線防止ガード(内軌)と外軌ゲージコーナ潤滑(レールゲージコーナとフランジ直摩抑制)

内軌頭頂面の粘着係数が増大すると車輪/レール間の横圧が増大し、車輪フランジの乗り上がり脱線のリスクと外軌ゲージコーナと車輪フランジのど部の摩耗が増加するため、その摩耗を抑制するために、脱線防止ガード(内軌)を設置し、外軌ゲージコーナを潤滑する。



#### (課題に対する方針・見解)

- 88%の急勾配自体は粘着係数の観点においては増粘着材散布などにより車両走行は可能である。
- 急曲線と急勾配の競合部分があるため脱線リスクが高く、本件についても別途詳細な検討が必要である。
- 本検討は0℃以下もしくは凍結した条件での評価ではないため、冬季の走行性については別途検討が必要である

※ 乗り上がり脱線リスクについては鉄道総研でより詳細な検討ができると考えられるが、凍結や積雪の影響なども考慮すると走行試験等による十分な確認が必要と考える。

### 3.4 軌道に関する課題の検討

#### (3) 気象条件に対する配慮

吉田口五合目の1月の平均気温は-20℃を下回り、このため、現状のスバルラインは、冬季において積雪や凍結により一時的、区間的に通行止めとなる場合がある。これらの厳しい気象条件に対しても車両が安定して走行が可能か？確認する必要がある。

## 3.4 軌道に関する課題の検討

### (4) 軌道管理における自動車乗り入れ、地盤の安定性についての検討

#### (併用軌道の軌道管理の問題点)

- 広島市、鹿児島市などのLRTの主要区間は、併用軌道であり、関係者間で次の点が問題点とされている。
- 幹線道路区間の併用軌道は、軌道変位(狂い)の進行が早く、更新の周期も早い。
- 軌道法61条は、軌道の幅員から外側61cmの範囲を軌道事業者の責任で補修する事を義務付けている。

#### (富士山登山鉄道の併用軌道への自動車乗り入れについて)

- 乗り入れる自動車は、緊急車両及び五合目の業務関連の自動車が想定されており、乗入れの頻度は低く、重量車の乗入れも限定的と考えられる。
- 富士スバルラインの道路の設計軸重は、旧基準の20tonと比較し、LRTの軸重は15ton以下と想定される。
- 上記の2項目から、軌道変位の進行及び更新は、LRTの荷重が前提の軌道管理が予想される。

#### (自動車乗り入れと地盤の安定性の確保について)

- 軌道敷設に先行し、給水施設、下水施設及び電力施設の敷設のために道路の掘削及び埋戻しが行われる。
- 併用軌道の工事では、先行工事の埋戻し土の転圧を、必要な場合は地盤改良を行い、軌道敷設工事を実施する必要がある。
- 特に冬季間の凍上は、軌道変位に影響することから、併用軌道の設計では排水に配慮が必要である。

## 3.5 車両に関する課題の検討

(1) 低床型 vs. 普通型

## 3.5 車両に関する課題の検討

### (1) 低床型 vs. 普通型 富士山登山鉄道用の車両開発

- 富士山登山鉄道PRビデオでは、低床型のLRTが掲載されている。
- 急勾配／急曲線、の富士スバルラインで運行させるためには、大型駆動装置・ブレーキ設備を搭載する必要がある。



#### ① 車載機器艤装からの検討

車両に搭載される電気品、ブレーキ用品などの車体への艤装の可能性を検討するにあたり、路線条件等が類似の箱根登山鉄道で運用されている3000形電車をベンチマークとした。

	最急勾配	最急曲線	路線長
富士スバルライン	88‰ (150 m長)	R = 27.5 m (第4ヘアピン)	24.1 km (有料区間)
箱根登山鉄道	80‰	R = 30 m	8.9 km

同鉄道の最新の3000形は、最近のLRVと同等、あるいはそれ以上の快適性、デザインを有しており、高いアイポイント、広い窓など観光鉄道の要素を有する点でも注目に値する。箱根登山鉄道はバラスト専用軌道であるが、自動車との併用軌道上でも同様の運用が可能である。

以下の車両諸元は、日本鉄道車両工業会発行の「車両技術249号 2015-3」からの引用である。

- 使用線区 箱根湯本～強羅
- 軌間 1 435 mm (標準軌)
- 基本編成 1M (単車) ただし、連結による編成組成可能
- 車両長さ 14 660 mm (カプラー間)
- 仕様線区的最急勾配 80 %
- 電気方式 直流750 / 1 500 V (架線)
- 製造初年 2014年

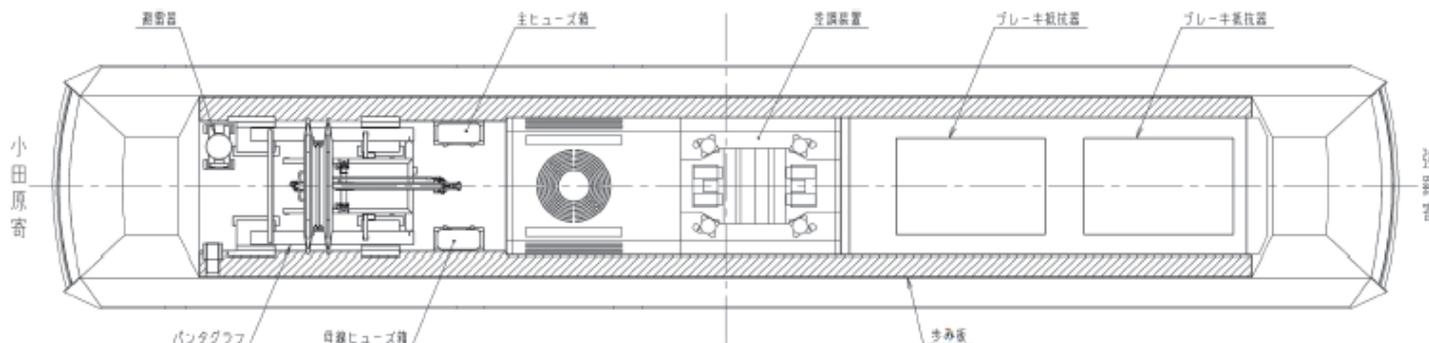


# 3. LRTシステムに係る課題の検討

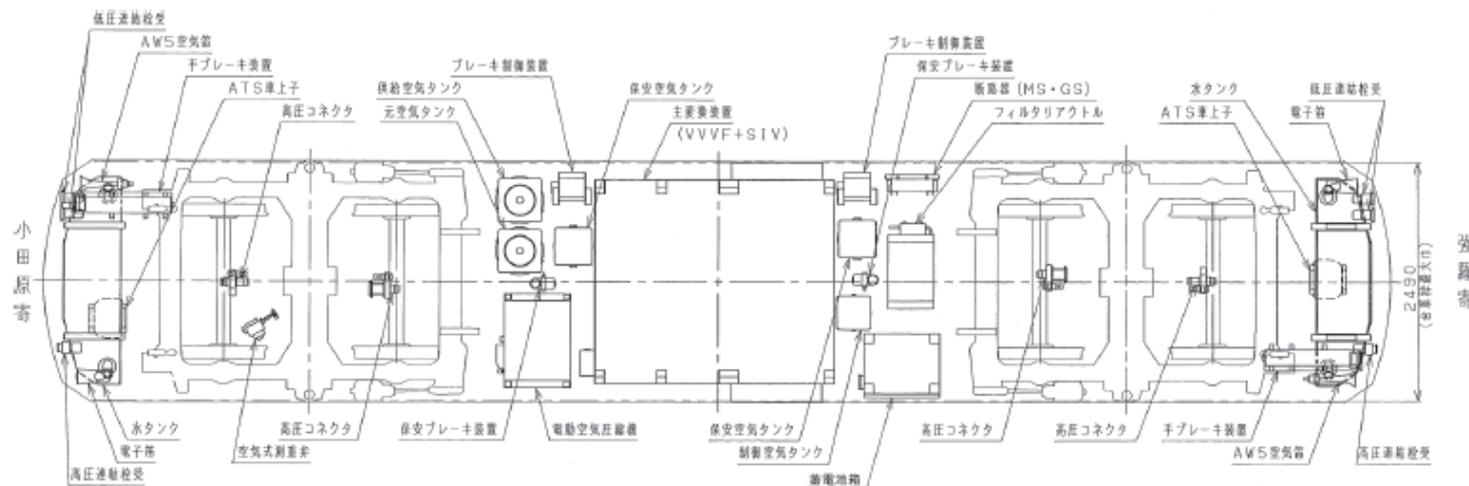
## 3.5 車両に関する課題の検討

### (1) 低床型 vs. 普通型

箱根登山鉄道3000形 機器配置図



a) 屋根上機器配置



b) 床下機器配置

日本鉄道車両工業会「車両技術249号 2015-3」より

# 3.5 車両に関する課題の検討

## (1) 低床型 vs. 普通型

電気品、ブレーキ用品など、車両走行/運用に必要な車載装置の機器配置を前ページに示す。  
機器配置図に示すとおり、機器が搭載可能な空間（屋根上および床下）はすべて車載機器で埋まっている。

- 屋根上     パンタグラフ、エアコン、ブレーキ抵抗器
- 床下       主変換装置（駆動用インバータおよび補助電源）、空気圧縮機

今回、架線レスのため、不要となる機器は、屋根上のパンタグラフ、ブレーキ抵抗器であるが、代わりに駆動用バッテリーが追加されるので、3000形電車（普通型）の場合でも、車載装置の艤装は厳しい。ましてや、低床型電車の場合は、床下への艤装はできないため、車両としての構成が困難と考えられる。

## ② 台車からの検討

宇都宮LRTのようなフル・フラット車両（車内床面が100%低床）の場合、台車中央部を低くするため、左右に車輪が装備された車軸がない特殊な台車が採用されている。同台車は海外メーカーからの技術導入によるもので、日本においては、路面電車のみで採用されているが、普通鉄道に実績はない。また、今回のLRTの台車に要求されるであろう第三軌条集電集電器、セラジェット（増粘着装置）などの機器の追加、および駆動用モーターの大型化が可能であるか、慎重な検討が必要である。

## ③ まとめ

上述のとおり、車載機器艤装が困難である点、および台車が構造的に成立するか不明である点から、今回の登山鉄道計画にはフル・フラットの低床LRTは推奨されない。また、部分低床（台車の部分のみ普通型）のLRTも、機器艤装が困難であることに加え、乗客の走行中の移動が不自由なため、推奨されない。このことは、車体が箱根登山鉄道3000形のような連結前提の単車であれ、宇都宮LRTのような接続車両であれ、同様である。

また、市街地を走行する宇都宮LRTなどに比較すると富士山登山鉄道は乗降箇所が限られていることから、低床型にするメリットは低いと考えられる。

従って富士山登山鉄道用の車両としては現時点での技術的に成立の可能性はあるのは、普通型と考えられる。

## 4. 事業運行上の課題整理

- 4.1 登山鉄道の利用客数と運転計画
- 4.2 単線／複線の比較
- 4.3 安全で快適なLRTの導入と運営
- 4.4 軌道の敷設と維持管理
- 4.5 駅及び検修施設(車庫及び工場)
- 4.6 既設構造物との関係
- 4.7 安全運行のための土木施設
- 4.8 ライフライン設備
- 4.9 工事スケジュール

## 4. 事業運行上の課題整理

### 4.1 登山鉄道の利用客数と運転計画

- 現在富士山五合目には、年間300～500万人が訪問しており、来訪者は夏場（7～8月）に集中している。既報告書では、登山鉄道の利用者数は年間約300万人と見込まれており、また通年で利用者を平均化したい意向がある。運転計画ではこれらの考え方を考慮に入れる。
- 一方で、登山鉄道の利用者は気象条件等から夏季がピークとなり、冬季は気象条件と雪崩等に対する安全確保の面から鉄道の利用者は少なく、鉄道の運行本数も少なくなると予想される。
- 登山鉄道の円滑な運営には、ピーク時である夏季の乗客数に合わせた車両数を調達し、関係施設を設ける必要がある。



写真：富士スバルライン 富士五合目



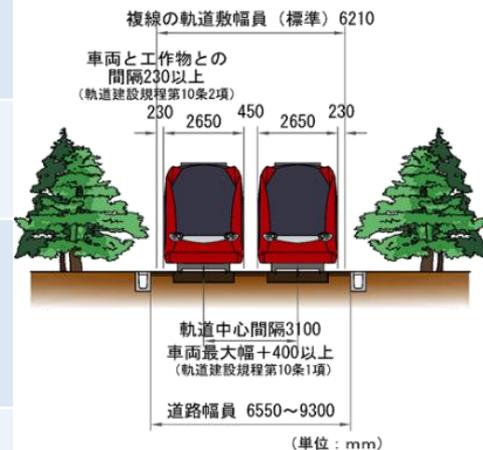
写真：富士五合目からの眺望

# 4. 事業運行上の課題整理

## 4.2 単線／複線の比較

- 乗客数に応じた柔軟な運行を実現するうえでは複線整備が望ましいが、整備費が相対的に増大するほか、道路拡幅の必要性の確認や緊急車両の通行の支障とならないような施設の検討が、より必要になる。

項目	単線	複線
コスト	<ul style="list-style-type: none"> <li>相対的に整備コストが低い</li> <li>行違い（信号場）、分岐器等の設置・メンテナンスが必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>軌道等延長が長く相対的な整備コストが高い</li> </ul>
ダイヤ	<ul style="list-style-type: none"> <li>行違い箇所により制約され、ダイヤの乱れが生じ易い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>柔軟な編成が可能</li> </ul>
突発災害時の避難誘導及び緊急車両の通行	<ul style="list-style-type: none"> <li>列車単独では行違いで支障が生じる可能性があるが、避難バスや緊急車両とは併用しやすい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>列車単独の場合は円滑に輸送可能だが、避難バスや緊急車両との併用には支障</li> </ul>
管理車両等の運行	<ul style="list-style-type: none"> <li>場合により列車運行中の使用も可</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>運行終了後（夜間保守）が原則</li> </ul>
工事期間中の道路使用	<ul style="list-style-type: none"> <li>工事期間中の一般車両の走行が容易である</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>工事期間中の道路利用制限等の制約が伴う</li> </ul>



複線化のイメージ

## 4. 事業運行上の課題整理

### 4.3 安全で快適なLRTの導入と運行

- 前提条件

車両は、路線条件に適合した加速・減速性能を備え、安全で快適な仕様となるよう配慮

- 利用者

多くは観光目的であり、片道の乗車時間が約1時間となることから、全員の座席を確保。車椅子スペース及び登山者の荷物の収納スペースの確保も必要。

- スバルラインの特性を踏まえた運行

富士山の気象条件（濃霧）及び急曲線を含む線路条件から、運転士の目視運転は困難。列車の安全な運行のために運転指令所を設け、最新の信号システムの導入による運転制御と列車の自動運転(レベル2又は3)と、運転指令と運転士との連絡を行う通信システムを備える。

表：自動運転のレベル



写真：濃霧発生時の様子（大沢駐車場）

自動化レベル	自動運転の内容 (UITP基準による)
レベル0	車両には自動運転システムは搭載されていない。
レベル1	運転士が発車、停止、変速などの操作を行い、速度超過時にATCシステムが減速する。
レベル2	運転士がドアの開閉と発車のみを行い、次駅の停止はATOシステムが行う。
レベル3	添乗員が乗車し、事故等の緊急時に避難誘導を行う。
レベル4	完全無人運転の実現

《UITP;Union Internationale des Transports Publics》

## 4. 事業運行上の課題整理

### 4.4 軌道の敷設と維持管理

軌道の設計及び敷設工事並びに維持管理における課題をハード及びソフト面の対応策に区分し、以下の表に示す。

表：軌道の敷設と維持管理の課題整理と対応策

区分	対応策の内容
ハード	・ 緊急時に対応するために起終点の山麓駅、五合目駅に加え、中間駅にも折返施設を設置する。
	・ 軌道の敷設に際し、開通後の維持管理作業の軽減を図るため、現状道路の地盤調査を行う。
	・ 冬季の軌道の積雪及び凍結対策として、分岐器ポイントに電気ヒーターの導入、踏切等の重要箇所にはレール側面の電気融雪器を設置する。
ソフト	・ 運転取扱及び施設保守マニュアルに異常気象時の取扱い基準値を設け、警戒態勢として指揮命令体制、人員及び機材等の対応を明確にする。
	・ 気象情報提携会社からリアルタイムの気象情報を入手し、運転指令と保守関係部門の連携により、自然災害に起因する事故を防止する。
	・ レールへの積雪に伴う車輪の空転を防止するため、営業運転終了後に回送列車を運転して積雪を防ぐ。

## 4. 事業運行上の課題整理

### 4.5 駅及び検修施設（車庫及び工場）

- 各駅施設は、LRTの安全運行の機能に加え、観光客が主であるLRTの利用者に対し、情報案内の機能を設けることが望ましい。
- 検修施設(車庫及び工場)には、車両留置と検査及び修繕を行う工場設備を設ける。
- 検修施設は、LRTの導入編成数に対応した規模とする。検修施設に併設して運転指令所、軌道及び電力設備の保守に必要な施設を設けるのが望ましい。

表：駅及び検修施設等の機能

施設名		機能
駅	起点駅	チケット等の発券、乗客の乗降、乗降客の案内、運行情報、関連鉄道の情報提供
	中間駅(4駅程度)	乗客の乗降、乗降客の案内、運行情報、駅周辺の案内
	五合目駅	乗客の乗降、乗降客の案内、運行情報、富士山頂の気象情報、駅周辺の案内
検修施設	車庫	車両留置、車内の清掃、車体の洗浄、車両の定期検査(1週間に一度の検査、3ヶ月に一度の月検査)、車輪の転削、消耗部品等の交換(ブレーキパッド等)
	工場	重要部検査(新製4年、以降3年6ヶ月毎に台車等の主要部分を分解又は取り外し検査) 全般検査(新製7年、以降6年毎に行う車両のオーバーホール)
運転指令 施設管理	運転及び電力指令所	運行中の列車監視、事故、火災、地震その他の自然災害発生時の対応、運行情報の提供、列車遅延時の対応、電力施設の監視及び制御
	施設保守管理所	軌道、土木及び建築、電力、信号及び通信施設の定期検査、維持管理の作業

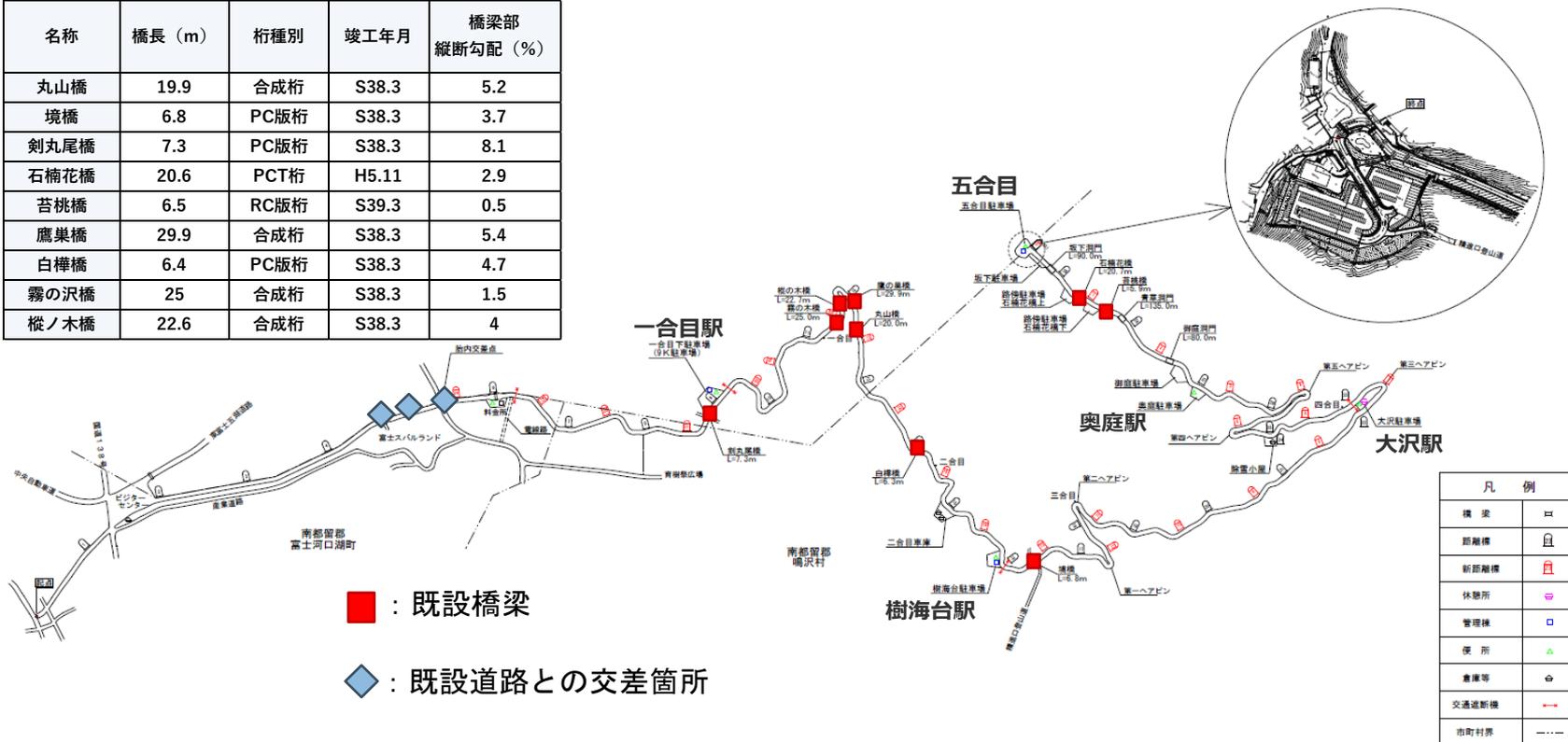
# 4. 事業運行上の課題整理

## 4.6 既設構造物との関係

- 富士スバルラインには下表に示す既設橋梁が9箇所にある。これらの既設橋梁の設計荷重はTL-20であり、LRT荷重に対して対応可能と考えられるが、車両選定や軌道設計を踏まえ、これらの橋梁の耐荷性評価を改めて行う必要がある。
- 山麓地域で既設道路と交差箇所があり、信号設置などの対応が必要である。

表：既設橋梁の仕様

名称	橋長 (m)	桁種別	竣工年月	橋梁部 縦断勾配 (%)
丸山橋	19.9	合成桁	S38.3	5.2
境橋	6.8	PC版桁	S38.3	3.7
剣丸尾橋	7.3	PC版桁	S38.3	8.1
石楠花橋	20.6	PCT桁	H5.11	2.9
苔桃橋	6.5	RC版桁	S39.3	0.5
鷹巣橋	29.9	合成桁	S38.3	5.4
白樺橋	6.4	PC版桁	S38.3	4.7
霧の沢橋	25	合成桁	S38.3	1.5
椋ノ木橋	22.6	合成桁	S38.3	4



## 4. 事業運行上の課題整理

### 4.7 安全運行のための土木施設

- 安全運行のための土木施設として、既設橋梁9箇所の対応策とともに、沿線の自然災害等の雪崩・落石、積雪・凍結、土砂流入・落葉等への対策が必要である。なお、特に影響が大きいスラッシュ雪崩については、2020年の山梨県県土整備部の調査で四合目から五合目までの7kmの区間で14箇所が認められ、このうち5箇所は対策済みで、残る9箇所は順次、防災対策を対応予定。
- さらに、自然災害を事前に検知して通報する自動検知システムを導入し、災害を未然に防止する対応が必要である。

表：安全運行のため対応が必要な土木施設等

項目	今後必要な対応策
既設橋梁	既設橋梁の9箇所のLRTの荷重条件から補強等の有無を判断
雪崩・落石	スラッシュ雪崩は四合目から五合目までの7kmのうち、未施工の9箇所において順次、対応予定
積雪・凍結	除雪車による除雪、顕著な積雪・凍結箇所はロードヒーターの導入などを検討。
土砂流入	降雨後にスコリアと呼ばれる火山性小石が路面に流入するため、清掃方法の検討が必要
落葉等	道路清掃車、散水車に依る落葉の除去方法の確認が必要



写真：洞門の例(富士スバルライン 御庭洞門)

## 4. 事業運行上の課題整理

### 4.8 ライフライン設備

LRTの整備に併せて、ライフラインとして電力及び上下水道などの供給施設の整備が検討されている。これら施設は、景観に配慮して道路に埋設する条件となる。

- **電力設備**

列車の駆動用の電力施設と一般用電力の供給施設は、施設の重要性及び電圧の差等から一般に区分して設置している。具体的には、維持管理が容易なCC-BOX程度の設備で可能か否かの検討を行う。

- **上水道設備**

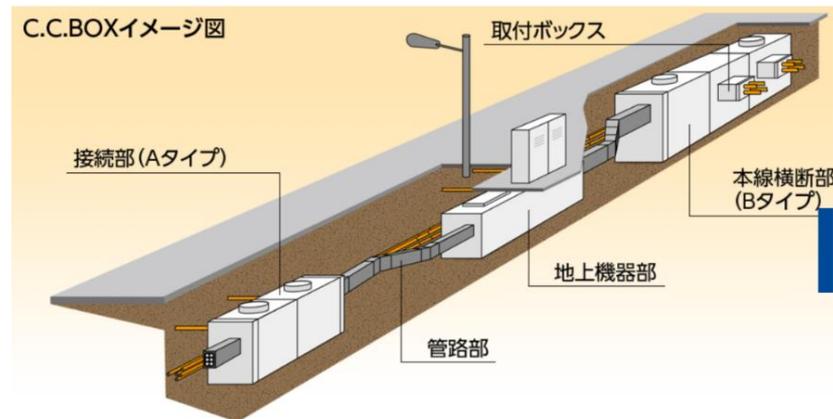
管路を地中に埋設して複数箇所にもポンプ所を設ける必要があり、技術的な検討が必要である。

- **下水道設備**

汚水の排除方式は、長距離の管路を自然流下式によるが、逆勾配になる部分はマンホールポンプでの圧送が前提となる。また、下水処理施設を含めて維持管理の検討が必要である。

- **ライフライン設備の容量**

五合目設備分と、LRT途中駅・変電所等供給分が必要。



図：CC-BOXのイメージ

## 4. 事業運行上の課題整理

### 4.8 ライフライン設備／上下水道の整備のイメージ

#### 上水道の概略検討

##### ■ 給水量の想定

給水量 = 観光人口 × 使用水量 = 30,000人 × 0.02 m<sup>3</sup>/人/日 = 600m<sup>3</sup>/日

単位時間当たり給水量 = 給水量 ÷ サービス提供時間

= 600m<sup>3</sup>/日 ÷ 8時間 = 75m<sup>3</sup>/1時間 = 1.25m<sup>3</sup>/分 = 0.021m<sup>3</sup>/秒

##### ■ 給水管の管径

単位時間当たり給水量 (0.021m<sup>3</sup>/秒)

流速1m/秒で輸送する前提で ≒ 0.2m (φ200mm)

##### ■ 高低差1,300mへの対応 (ポンプの検討)

1台当たりの揚水能力は150m程度。1,300mの揚水に10台程度の加圧／揚水ポンプが必要

#### 下水道の概略検討

##### ■ 排水管の管径 給水管と同程度 (φ200mm)

##### ■ マンホールポンプの必要性

逆勾配箇所数 = マンホールポンプ設置箇所数、揚程を30mの仮定 ⇒ ポンプ能力 : 1.5kW程度

##### ■ 流速の問題

道路の縦断線形により排水管の流速が規定値 (最大3m/s) を超える可能性があり、要対策

## 4. 事業運行上の課題整理

### 4.9 工事スケジュール

- 工事工程としては、軌道敷設工事、信号・電力設備工事、LRT車両の製造、駅建築工事、検修施設(車庫及び工場)などが必要であり、これを考慮した工程イメージをバーチャートで以下に示す。
- なお、工事施工期間中の一般車両の通行確保を考慮した工程を検討する必要がある。

表：工事工程のイメージ

工 種	実施年次
基本設計・詳細設計	
土木施設等工事	
LRT車両の製造	
軌道敷設工事	
信号・電力設備工事	
駅建築工事	
検修施設(車庫及び工場)	

## 5. 事業運行上の課題の検討

- 5.1 事業運行上の課題の検討（委員の指摘への対応）
- 5.2 軌道線形データの作成
- 5.3 線形データを踏まえたダイヤグラムの作成
- 5.4 冬季運行の対応策の検討
- 5.5 LRTの輸送力と必要な車両編成数の整理
- 5.6 LRTシステムに係るインフラの規模・性能の検討

## 5. 事業運行上の課題の検討（委員の指摘への対応）

### 5.1 事業運行上の課題の検討（委員の指摘への対応）

#### 列車運行および設備の維持管理

##### 【委員からのご指摘】

これまでの日本の鉄道では無かった線形および気象条件下での運行となり、列車運行および設備の維持管理については、事前に入念な検討が必要です。現時点での対策案は概念的であり、具体的かつ詳細な案に基づいた議論も必要かと思えます。

##### 【回答】

最急勾配が80%、五合目駅の標高は約2,300mなど線形及び気象条件が厳しい路線です。通年で運転するには従来の鉄道よりも列車の安全運行と設備の維持管理は、難しい面が予想されます。この為には、ご指摘のとおり、事前にハード及びソフト対策の検討及び準備が必要と考えています。

冬季間の運行を確保する為には、ハード対策として除雪車の配備、分岐器のヒーターの設置、駅施設等の重要箇所のロードヒーター設置など行うとともに、ソフト対策として常時の気象観測と予測に基づく運転指令所の運行管理が必要と考えています。

## 5. 事業運行上の課題の検討（委員の指摘への対応）

### 運転指令所の役割とイメージ

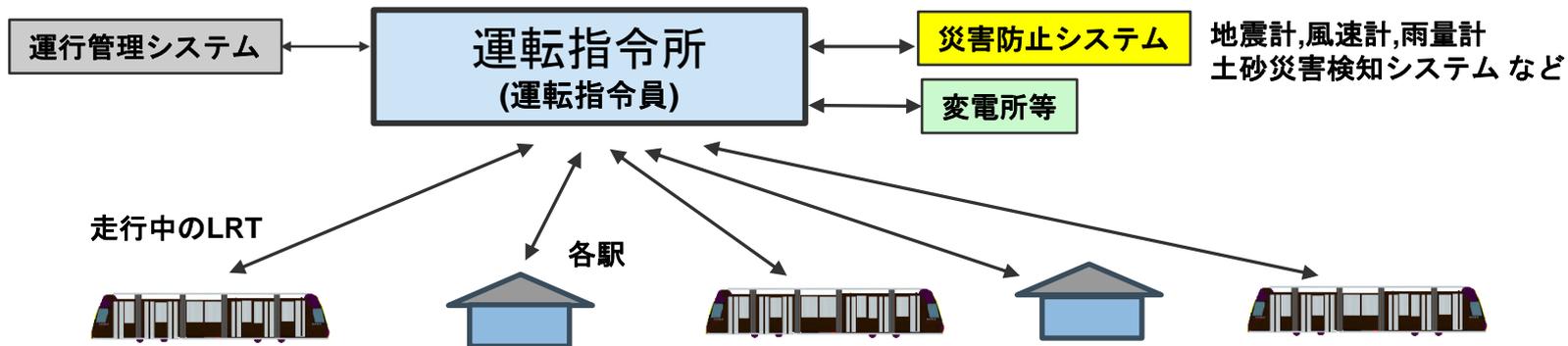
中央制御により、下記の対応を行い列車運行の安全を確保します。

#### 運転指令所の通常時の役割

- ・ 運転計画
- ・ LRTの発着管理
- ・ 各LRTの運行状態の監視
- ・ LRT遅延時の復旧
- ・ 乗客の運行案内 など

#### 運転指令所の異常時の対応

- ・ 車両故障
- ・ 車両故障
- ・ 停電
- ・ 駅及び施設の火災
- ・ 強風、強雨時の運転規制
- ・ 地震時の運転規制
- ・ 事故・災害発生時の指令 など



図：運転指令所のイメージ

# 5. 事業運行上の課題の検討（軌道線形データ）

## 5.2 軌道線形データの作成

### 5.2.1 富士スバルラインの軌道線形データの作成

- 富士スバルラインの詳細図面は、道路台帳の平面・縦断図（134枚のPDF）とCAD平面図を貸与されているが、曲線及び縦断勾配の諸元の記述が無く、新たに路線計画等の作業が困難であった。
- このため、CAD平面図を基本に道路台帳のPDF図面を参照し、新たなCADの平面図及び縦断図を下記の要領で作成した。

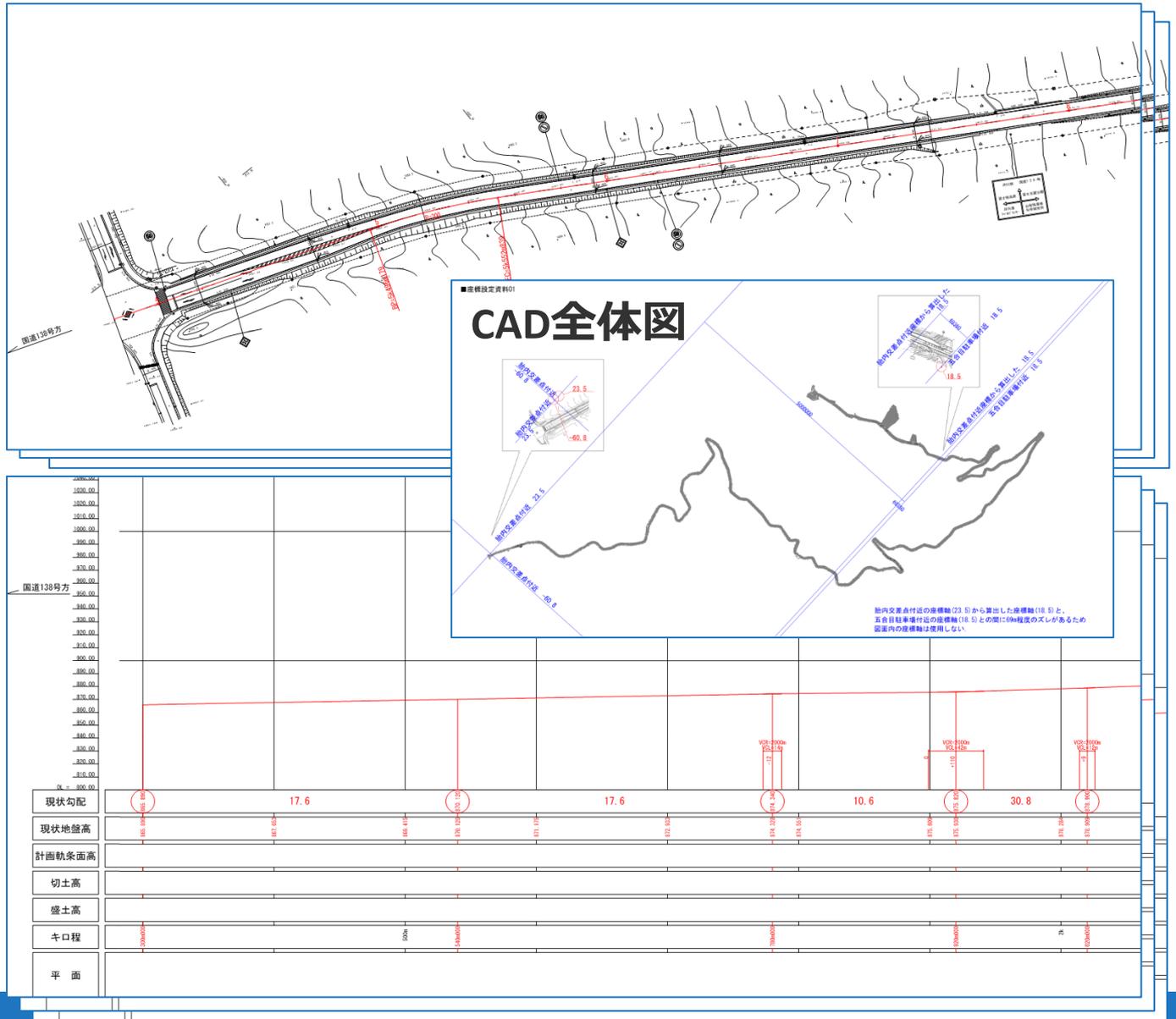
区間	平面図	縦断図
国道138号 ～胎内交差点	<ul style="list-style-type: none"><li>CADデータがないため図化が困難である。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>PDFデータとCADデータを関連付けし、縦断図を作成する。</li></ul>
胎内交差点 ～五合目駐車場	<ul style="list-style-type: none"><li>CAD図面より曲線諸元データを作成する。</li><li>基準点は、交差点中心を5km380m000のとし、五合目駐車場に向かう旧キロ程方向とする。このため、縦断面図のキロ程とに差が生じる。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>胎内交差点中心をキロ程5km380m000とする。</li><li>五合目駐車場に向かって旧キロ程方向とする。</li></ul>

- 縦断図はPDFの勾配と地盤高を参考とする。ただし、0.5%の差程度の変化は同じ勾配とする。
- 道路中央に単線軌道を想定して中心線を設定する。設定した中心線から曲線半径を求める。
- 平面図は概略検討のため緩和曲線を考慮しない。
- 縦断図は縦曲線（R=2000）を挿入し、平面曲線と縦断曲線は、競合しても良い。

# 5. 事業運行上の課題の検討（軌道線形データ）

## 作成例

## 起点側 CAD平面・縦断面図



# 5. 事業運行上の課題の検討（軌道線形データ）

## 5.2.2 ヘアピンカーブの曲線半径

ヘアピンカーブでは急曲線と急こう配が組み合わせられるため、走行安全性への影響が懸念される。急曲線部ではこう配を設けないようにするなど、ある程度の縦断線形の改良は検討した方が良い。また、脱線リスクを考慮すると曲線半径は最小でも50m程度確保する必要があるが、脱線防止ガードを設置すれば30m程度まで問題無い。



N0,	キロ程	区分	項目	起点側 勾配と延長	曲線区間の 勾配と延長	終点側 勾配と延長	勾配変更の可能性
1	14.6km	14 k m地点 半径36m,65%	勾配 (%)	53	65	48	終点側は曲線区間よりも緩勾配であり、勾配を55%に緩和が可能
			延長 (m)	180	100	100	
2	17.3km	第1ヘアピン 半径30m,48%	勾配 (%)	72	48	70	曲線区間の前後の勾配は緩勾配でなく、勾配変更は困難
			延長 (m)	220	140	240	
3	18.2km	第2ヘアピン 半径29.5m,54%	勾配 (%)	55	54	38	終点側は曲線区間よりも緩勾配であり、終点側は曲線区間よりも緩勾配であり、勾配を50%に緩和が可能
			延長 (m)	320	140	160	
4	22.5km	第3ヘアピン 半径29m,47%	勾配 (%)	49	47	32	終点側に大沢駐車場駅を予定している為、勾配の変更は困難
			延長 (m)	220	200	80	
5	24.5km	第4ヘアピン 半径27.5m,44%	勾配 (%)	52	44	42	曲線区間の前後の勾配は緩勾配でなく、勾配変更は困難
			延長 (m)	220	120	180	
6	25.5km	第5ヘアピン 半径29.5m,51%	勾配 (%)	36	51	54	起点側の勾配を変更し、起点側の勾配を変更し、曲線区間の勾配を44%に緩やかに変更が可能
			延長 (m)	180	200	240	

## 5. 事業運行上の課題の検討（ダイヤグラムの作成）

### 5.3 線形データを踏まえたダイヤグラムの作成

本章では、下記の通り、委員からのご指摘の回答をします。

#### 【委員からのご指摘】

検討のベースとなる資料として、複線、単線（行き違い4駅）、部分複線などのモデルケースについて、輸送量を求めておくべきである。

急曲線箇所は限定的であるので、限定的にスイッチバックなど、道路外を用いることにより問題が大きく解決する可能性があるため、その実現性を考える。また、直線部を限定的に複線とし、行き違い区間することを考える。

#### 【回答】

「単線・複線軌道のダイヤグラムによる輸送量の比較」

富士山登山鉄道の供給可能輸送量等を試算するため、これまでの検討における所要時間算出表に示されている運転速度、駅間距離及び駅停車時間等をデータを用い、単線及び複線軌道のダイヤグラムを作成し、ダイヤグラムから単線・複線軌道の場合の可能供給輸送量を比較した。

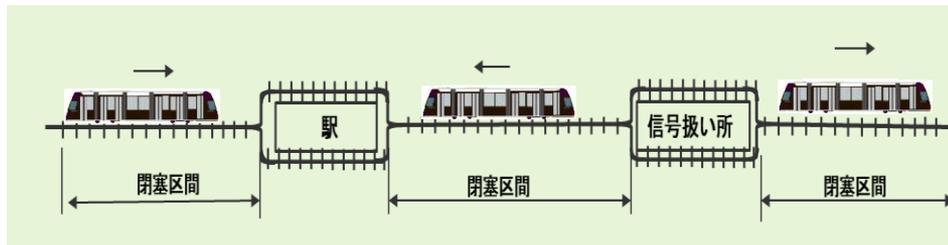
次ページ以降に検討結果を示す。

# 5. 事業運行上の課題の検討（ダイヤグラムの作成）

## 5.3.1 単線軌道のダイヤグラムの作成

### 1) 作成のための条件及び仮定

- ・単線軌道は、衝突事故等の安全確保のため、駅及び信号扱い所間で構成される閉塞区間には1列車のみ侵入可能とする。
- ・列車の相互にすれ違う駅及び信号扱い所の停車時間は、分岐器ポイント等の動作時間等から3分を標準とする。
- ・単線軌道の検討は、下の図に示す①と②のケースと大沢駐車場・五合目駅間を複線とする。



#### ①起終点駅と中間4駅のケース



#### ②駅間に4信号扱い所を設置のケース



#### ①、②のケースで大沢駐車場・五合目駅間を複線化するケース



※奥庭・五合目駅間は駅間が約3 kmの短距離のため、信号扱い所を設けない。

※路線及び運行条件及び駅間の所要時分の計算はこれまでの検討事項から抜粋。

# 5. 事業運行上の課題の検討（ダイヤグラムの作成）

## 5.3.1 単線軌道のダイヤグラムの作成

### 1) 作成のための条件及び仮定

#### 【路線及び運行条件】

- ・ 延長 : 山麓駅～五合目駅間は約 27.7 kmとする
- ・ 最高速度 : 山麓駅→五合目駅方向 40 km/h（軌道運転規則第 53 条）
- ・ 五合目駅→山麓駅方向 25 km/h（箱根登山鉄道における下り方向の実績を参考）
- ・ 急曲線部の運行速度 : 曲線半径 30mの区間については 16 km/hとする（既存の軌道経営者の事例を参考）
- ・ 加減速度 : 2 km/h/s（既存の LRT 車両の性能を参考）
- ・ 停車駅 : 中間駅 4 駅にすべて停車

#### 所要時分の計算

山麓→五合目 駅名	キロ程 (m)	駅間距離(m)	上り速度(km/h)	上り所要時分(分)			上り時分秒	五合目→山麓			下り時分秒	
				(分)	(秒)	(分)		(秒)	(分)	(秒)		
起点 山麓	0											
一合目	7030	7030	37.8	11.159	11	10	11'10"	24.50	17.216	17	13	17'13"
樹海台	14050	7020	35.2	11.966	11	58	11:58"	24.50	17.192	17	12	17'12"
大沢駐車場	20550	6500	34.8	11.207	11	12	11'12"	24.00	16.250	16	15	16'15"
奥庭	24997	4447	32.7	8.160	8	10	8'10"	23.60	11.306	11	18	11'18"
終点 五合目	27668	2671	36.9	4.343	4	21	4'21"	24.20	6.622	6	37	6'37"
				46.834			68.586					
				走行時間計			走行時間計			走行時間計		
				45 111 46'51"			67 95 68'35"			67 95 68'35"		
				停車時間(4 駅に各30秒) 含む 5分			停車時間含む			停車時間含む		
				50 115 51'51"			72 95 73'35"			72 95 73'35"		
				表定速度(km/h)			表定速度(km/h)			表定速度(km/h)		
				32.0			22.6			22 34 22'34"		

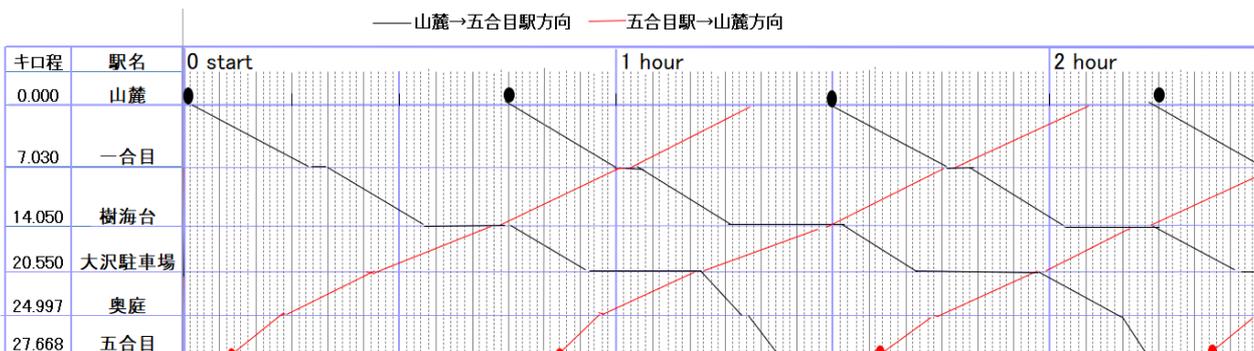
# 5. 事業運行上の課題の検討（ダイヤグラムの作成）

## 5.3.1 単線軌道のダイヤグラムの作成

### 2) 結果

#### ① 起終点駅と中間4駅のケース

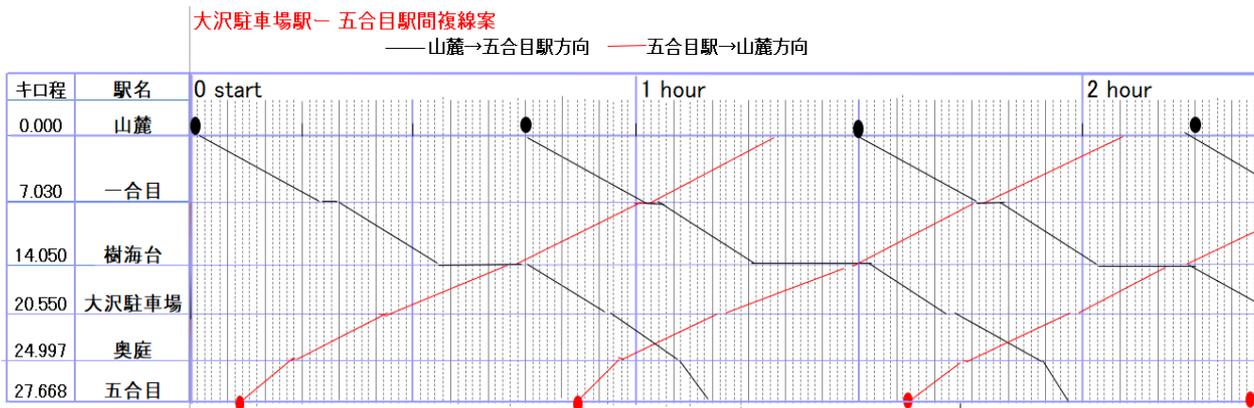
① 起終点駅と中間4駅のケース



山麓→五合目駅 71分31秒  
 五合目駅→山麓駅 81分35秒  
 1 往復時間 2時間33分06秒  
 運転間隔 35分

#### 大沢駐車場・五合目駅間を 複線化するケース

一部区間を複線化するケース



山麓→五合目駅 56分31秒  
 五合目駅→山麓駅 81分35秒  
 1 往復時間 2時間18分06秒  
 時間短縮効果 15分0秒  
 運転間隔 35分

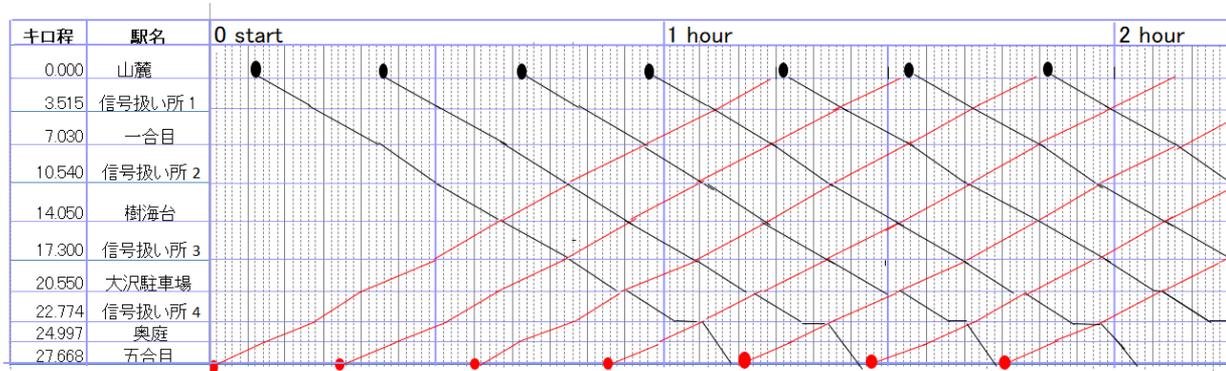
\* 一部区間の複線化は、往復時間の短縮に効果はあるが、運転間隔の短縮は困難である。

# 5. 事業運行上の課題の検討（ダイヤグラムの作成）

## 5.3.1 単線軌道のダイヤグラムの作成

### ② 駅間に4信号扱い所を設置のケース

② 駅間に4信号扱い所を設置のケース



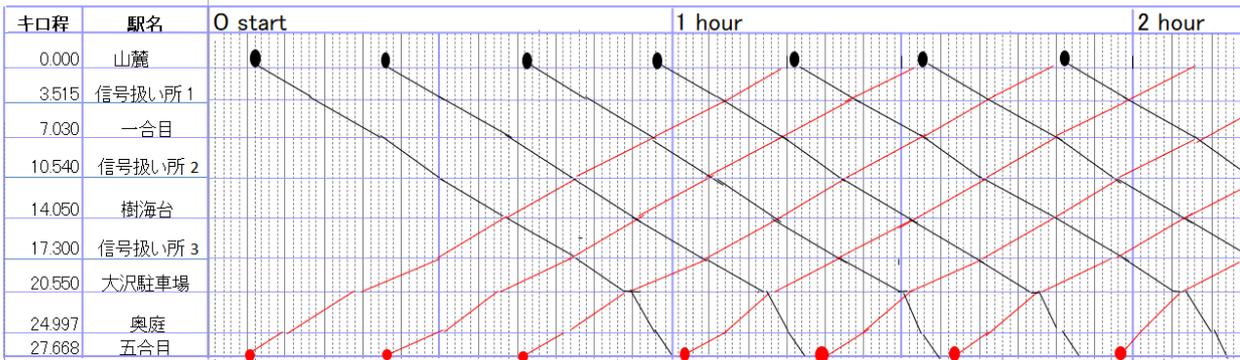
山麓→五合目駅 71分56秒  
 五合目駅→山麓駅 76分37秒  
 1 往復時間 2時間28分33秒  
 運転間隔 17分30秒

### 大沢駐車場・五合目駅間を 複線化するケース

一部区間の複線化のケース



大沢駐車場駅 - 五合目駅間複線案  
 — 山麓→五合目駅方向 — 五合目駅→山麓方向



山麓→五合目駅 66分41秒  
 五合目駅→山麓駅 76分37秒  
 1 往復時間 2時間23分18秒  
 時間短縮効果 5分51秒  
 運転間隔 17分30秒

\* 一部区間の複線化は、往復時間の短縮に効果はあるが、運転間隔の短縮は困難である。

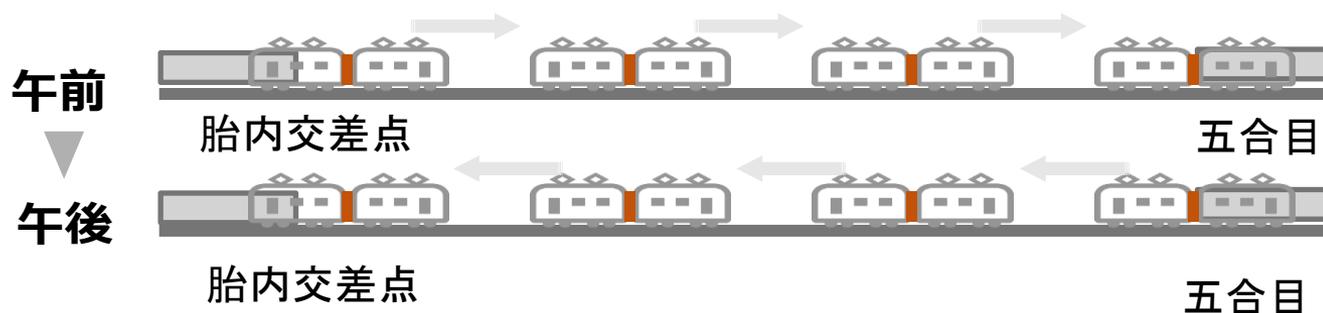
## 5. 事業運行上の課題の検討（ダイヤグラムの作成）

参考 単線軌道で輸送するその他の方法

下記の運転方法もあるが、想定条件等に大きく影響される為に参考とした。

- **午前・午後一方通行**

午前：胎内⇒五合目、午後：五合目⇒胎内と、時間帯別に一方通行とすることで行き違いをなくし、輸送密度を増やすことができる。



- **複数編成コンボイ運転**

複数編成をコンボイ（カルガモ方式）で運行させることで、実質的に1編成の定員を2倍、3倍にすることができるが、起終点駅と行き違いを行う駅のホームを長くする必要がある。



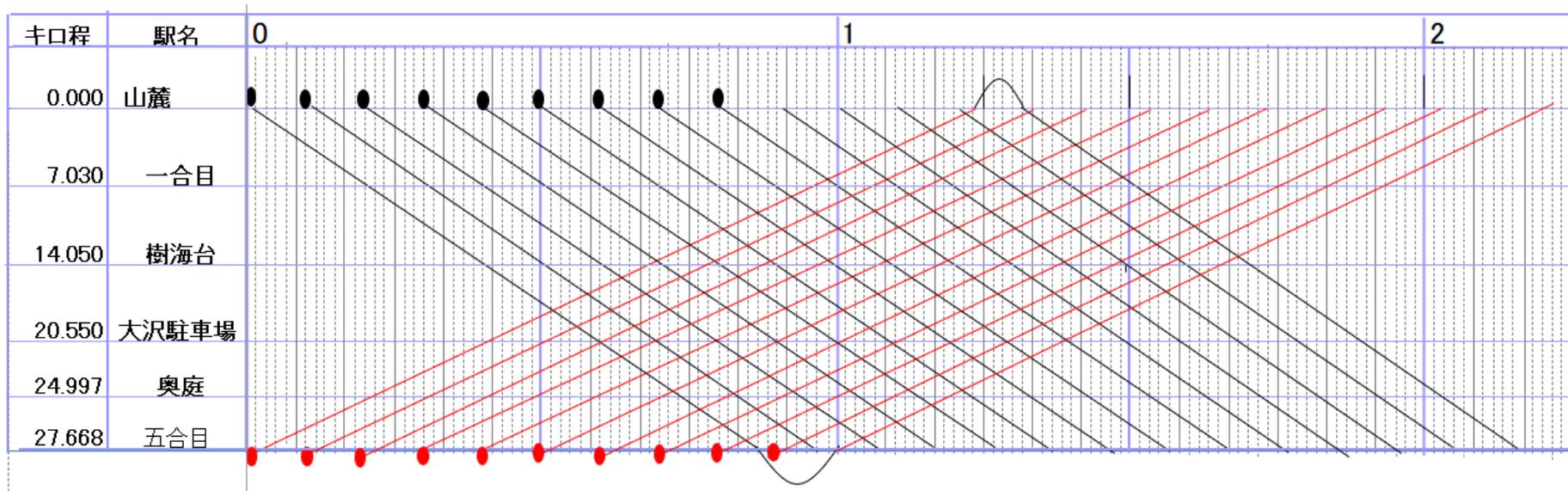
コンボイ運転のイメージ（2両/編成×2編成の場合）

## 5. 事業運行上の課題の検討（ダイヤグラムの作成）

### 5.3.2 複線軌道のダイヤグラムの作成

#### 作成の条件及び結果

- ・これまでの検討を踏まえた駅間の運転速度及び距離から運転速度を用い、中間4駅の停車時間を30秒、運転間隔を6分とする。
- ・山麓から五合目駅に52分、五合目から山麓駅に74分の所要時間のダイヤグラムのパターンを示す。



図：複線軌道のダイヤグラムの例

## 5. 事業運行上の課題の検討（ダイヤグラムの作成）

### 5.3.3 駅及び信号扱い所の縦断勾配の制限

軌道建設規定及び鉄道事業法の技術省令の縦断勾配制限を参照して概略検討を行う。

#### 1) 駅の縦断線形の計画

単線軌道の駅・・・延長約110mの区間が必要

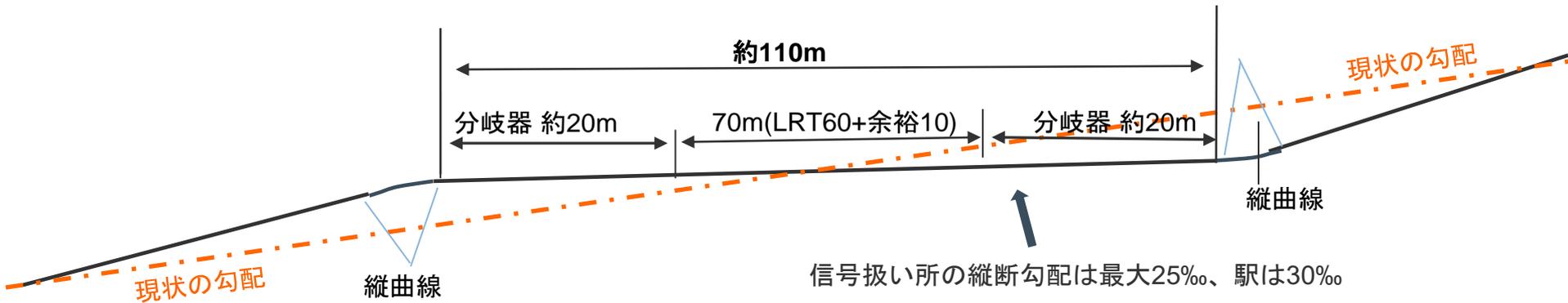
- ・起終点側に分岐器を設けるために下記の図面の勾配となる。

複線軌道の駅・・・延長約70～110mの区間が必要

- ・非常渡り線を設ける場合は、下記の図面となる。

#### 2) 信号扱い所の縦断線形の計画・・・延長約110mの区間が必要

- ・単線軌道の場合は、列車が行き違いの為、信号扱い所を設ける。
- ・2編成連結(60m)の行違いのためには、勾配変更区間が約110mが必要となる。



図：単線軌道の駅及び信号扱い所の縦断勾配

## 5. 事業運行上の課題の検討（スバルライン冬期運行視察）

### 5.4 冬期運行の対応策の検討

- 2024年3月20日（水）のスバルラインの営業は前日の降雪により一合目駐車場までであったが、3月19日（火）までは四合目大沢駐車場まで営業されている状況であった。このため、道路管理事務所の担当者で一合目駐車場で合流し、道路管理事務所の車両に先導して頂く形で御庭洞門まで車両で移動し、御庭洞門からは徒歩で五合目まで踏査を行った。
- 今回の現地踏査は3月中旬に実施したが、四合目までは前日まで除雪がされていたため、路面上に薄く雪が被る程度であったが、四合目より標高の高い道路の表面は雪と氷の互層になっており、10～40cm程度の厚みがあるようだった。また、風が強く視界がきかない時間帯もあった。



# 5. 事業運行上の課題の検討（スバルライン冬期運行視察）

## 5.4 冬期運行の対応策の検討

留意事項	概要	参考図
積雪時の運転	積雪量に応じ、除雪及び着氷対策として営業後の列車の夜間運転、除雪車の運転などが必要である。	
フランジ・ウェイ	特に併用軌道は、路面とレール頭頂面の高さが同じため、車輪のフランジ・ウェイ（車輪が通過する溝）が着氷により閉塞する恐れがある。フランジ・ウェイの閉塞は、車輪の脱線に繋がることから脱線防止のため、営業後の夜間運転が必要である。	
分岐器ポイント部	分岐器ポイント部の凍結によるトラブル防止のため、電気融雪器を設置する必要がある。箱根登山鉄道は、冬季夜間には常時に電源を投入している。	

- 降雪を含め、自然災害を考慮した“運転マニュアルと関連する細則、軌道整備マニュアル”などの整備が必須であり、マニュアルは、判断基準とする数値を示す記述が必要である。
- 自然災害防止のため、運転指令所は、沿線の気象観測の状況、地域のウエザーニュース等を把握して的確な判断が必要である。
- 駅施設は、降雪時の乗客の転倒防止のため、人による除雪の体制、ロードヒーターの整備、凍結防止剤の散布など、きめ細かい対応が必要である。

# 5. 事業運行上の課題の検討（輸送力）

## 5.5 LRTの輸送力と必要な車両編成数の整理

### 5.5.1 可能供給輸送量等の結果の比較

#### 1) 単線・複線軌道の比較

- ・1編成(30m)の乗車定員は60人とする。
- ・2編成連結(60m)の場合の乗車定員は120人とする。

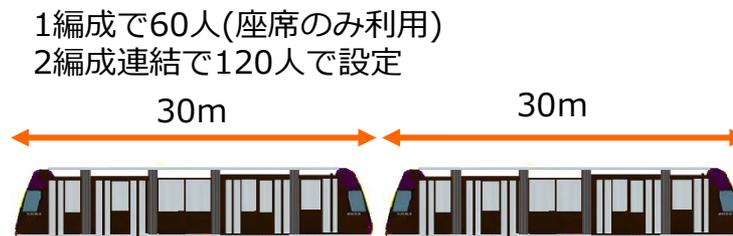


表 所要時分、必要編成数等の比較

区分	運転間隔	片道の所要時間			必要な2編成連結の数		
		山麓から五合目駅	五合目から山麓駅	計			
単線軌道	35分	71分31秒	81分35秒	152分	4.3	→ 5 予備2	計7
	17分30秒	71分56秒	75分37秒	148分	8.5	→ 9 予備2	計11
複線軌道	6分	52分	74分	126分	21.0	→ 21 予備3	計24
	10分				12.6	→ 13 予備3	計16
	15分				8.4	→ 9 予備2	計11

- ・単線軌道の場合、信号取扱い所の設置をして一日10時間運転すると仮定した場合、一日あたりの輸送量は、2編成（定員120人）で34往復・4,080人/日（408人/時間×10時間）
- ・複線軌道の場合、6分運転間隔の運行で一日10時間運転すると仮定した場合、一日あたりの輸送量は、2編成（定員120人）で100往復・12,000人/日（1200人/時間×10時間）

#### 2) 単線・複線軌道の比較に対する考察

- ・単線軌道は、複線軌道に比較して運転間隔、所要時間など利便性が欠け、輸送供給量が大幅に劣るが、自動車の通行の制約が少ない、必要とする車両編成数が少ない、軌道敷設の延長が短く建設費が削減できる利点がある。

## 5. 事業運行上の課題の検討（LRTインフラ規模・性能）

### 5.6 LRTシステムに係るインフラの規模・性能の検討

安全で快適な公共交通機関として利用されるためには、LRTシステムのインフラの整備と整備後の運営及び維持管理が重要となる。以下に、LRTシステムに係るインフラの規模・性能を整理する。

#### （1）他LRT及び鉄道との規模比較

- 施設の規模について、運営中のLRT及び鉄道との比較を以下に示す。
- 富士山登山鉄道のLRTシステムのインフラは、運営中の事業者と比較すると、路線長に比較して駅数は少ないが、各種施設、車両数は多く、規模も大きい

名称	路線延長 (km)	駅数	乗車人員 (人/日)	車両編成数	車両数	車庫面積 (ha)	社員数
富士山登山鉄道 注1	27.7	6	12,000	24 (2編成連結数)	48	—	—
宇都宮ライトレール 注2	14.6	19	12,000	17	51	4.0	80
箱根登山鉄道 注3	15.0	16	21,989	—	23	0.4	181

注1：乗車人員は複線軌道で1日10時間運行時の片道乗車数、往復乗車は24,000人/日

注2：乗車人員は新聞報道、1編成は3車両で30mの長さ

注3：国土交通省「鉄道統計年報2019年度」に依る。車庫面積は検車施設の面積

## 5. 事業運行上の課題の検討（LRTインフラ規模・性能）

### 5.6 LRTシステムに係るインフラの規模・性能の検討

#### （2）部門別に区分した主要なインフラ

- LRTシステムの主要なインフラを部門別に区分して建物、主要な施設、設備及び機材等を以下に示す。

区分	項目	備考
本社	建物	本社棟
	主な施設	事務室、社員の教育・訓練施設
運輸	建物	運輸関係の庁舎、駅舎、仮泊所
	主な施設	駅施設、運転指令所、駅使用機器等の訓練施設
施設 (軌道、土木及び建築)	建物	施設関係の管理棟、資材倉庫
	主な施設	線路施設、土木施設、駅建築設備
	機器類	軌道検測車、クレーン、各種の測定器及び治具
	資機材運搬車	大型軌道モーターカー、トラック、フォークリフト
電気 (電力、信号及び通信)	建物	電気関係の管理棟、変電所棟、資材倉庫
	主な設備	変電所、き電設備、信号機器、通信機器
	機器類	各種測定器及び試験機、治具
	資機材運搬車	軌道モーターカー、トラック、フォークリフト
車両	建物	車両関係の管理棟、車庫施設(検査棟、工場棟)、倉庫
	検査設備	検査ピット、屋根上点検台
	工場設備	大型クレーン、検査ピット、屋根上点検台
	機器類	車両洗淨機、車輪転削機、各種測定器及び試験機、治具
	汚水処理設備	車両洗淨及び油類含む汚水の処理

## 6. 検討課題の優先順位の整理

## 6. 検討課題の優先順位の整理

第1回検討会議において、「富士山登山鉄道構想」や過年度の検討結果を踏まえて、技術的検討課題を以下のように提示した。

項目	課題	課題の概要
LRTシステム導入における課題整理	軌道に関する課題	併用軌道の種類、急曲線と急勾配の競合、脱線対策の検討
	車両に関する課題	集電方式、車両タイプ、登坂性能、制動性能、冬季の気象条件の検討
事業運行上の課題整理	①利用客数と運転計画	夏季・冬季の需要に応じたダイヤ検討
	②単線／複線の比較	単線／複線のどちらが望ましいかの検討
	③安全で快適なLRTの導入と運営	車いす・登山ザックのスペースを考慮した座席配置・座席定員の検討。濃霧や急曲線でも運行可能な信号・通信システムの検討。
	④軌道の敷設と維持管理	軌道の積雪・凍結対策の検討
	⑤駅及び検修施設（車庫及び工場）	駅の機能、施設規模の検討 検修施設の機能、施設規模や場所の検討
	⑥既設構造物との関係	9か所の既設橋梁の耐荷性評価および道路交差部の対応検討
	⑦安全運行のための土木施設	雪崩、落石、積雪、凍結、土砂流入、落葉等への対策の検討
	⑧ライフライン設備	電気・上下水道などのライフライン設備の検討 電車への電力供給施設・通信施設の検討
	⑨開業後の緊急車両等の乗り入れ	開業後の緊急車両・一般車両（自動車・二輪車・自転車）の乗り入れの検討
	⑩工事スケジュール	工事工程の検討 工事期間中の一般車両の通行確保の検討
	⑪建設費の概算	建設費の検討

## 6. 検討課題の優先順位の整理

第1回検討会議では、技術的課題のうち以下の指摘があった。

- スバルラインにおけるLRTシステム導入の実現性
- 架線レスの適用性・安全性の検討
- 冬季の運行について
- 単線・複線の決定

(凡例)

①：軌道・車両の基本仕様であるため、次年度早急に検討

②：軌道・車両の基本仕様決定後に検討

③：既にも実施済み。車両・軌道の基本仕様決定後に再度確認

優先検討課題を整理し、検討結果を第2回および第3回検討会議に提示した。

課題区分	優先検討課題	検討方法	優先順位
軌道に関する 技術的課題	自動車の乗り入れに関する検討	事例調査による妥当性検討	②
	急勾配・急曲線部の線形改良の検討	線形データの作成、曲線半径の変更・スイッチバック・ガントレットの適用性検討	①
	火山性地盤における軌道の安定性の検討	事例調査による妥当性検討	②
車両に関する 技術的課題	粘着方式による急勾配の推進・制動の可否の検討	車両メーカー・事業者ヒアリング、シミュレーション	①
	第三軌条・バッテリーの併用車両の検討	車両メーカー・事業者ヒアリング、事例調査による妥当性検討	①
	気象条件に対応する車両の開発	車両メーカー・事業者ヒアリング、事例調査による妥当性検討	②
	車両の低床・普通床型の比較検討	車両メーカー・事業者ヒアリング、事例調査による妥当性検討	①
事業運行上の 課題	単線・複線軌道のダイヤグラムによる輸送量の比較	単線・複線軌道のダイヤグラムの作成	③
	冬季運行の対応策の検討	事例調査による妥当性検討	①
	LRTの輸送力と必要な車両編成数の検討	運転間隔に基づく必要編成数の評価	①
	LRTシステムに係るインフラ規模・性能の検討	事例調査による妥当性検討	③

## 7. 課題解決に要する期間・費用の提示

# 7. 課題解決に要する期間・費用の提示

## 7.1 直接事業費の算定

- 富士山登山鉄道構想においては概算整備費が約1,400億円と想定されている。
- 本年度、車両の編成数を改めて検討したが、48編成は事業成立上妥当である。また、概算整備費の内訳では、運行用の信号設備費用が独立して算定されていないものの、軌道とロードヒーティングの予算は十分に高めに計上されている。
- 上記および既設交通システムとの比較から、現状の概算事業費は妥当と判断できる。

表：概算事業費の内訳

項目	費目	金額 (億円)
附帯構造物	橋梁等	30
軌道	レール・分岐等	340
駅	ホーム、駅躯体、駅設備等	80
電力設備	電車線、変電所、電力供給費用等	300
通信設備	通信設備等	80
車両	LRT車両、清掃車、除雪車	180
車両基地	車両基地、本社建物等	50
ロードヒーティング	一合目～大沢駐車場	120
交通結節点整備	P&R駐車場、交通広場、路面復旧等	60
小計		1,240

その他(ライフライン整備費)

大項目	費目	金額 (億円)
ライフライン整備費	上水道、下水道、電気設備	100

合計		1,340
----	--	-------

表：既設新交通システムとの費用比較(参考)

	日暮里舎人線 (2008年開通)	富士山登山鉄道
営業キロ	9.7 km, 13駅	24.1 km, 6駅
車両	20編成 (9m 5両編成)	48編成 (30m 1編成)
車庫用地面積	4 ha 用地費を含まず	用地面積 5 ha, その他1~2 ha必要
事業費概算	482億円*	1,340億円

\* 高架橋等の土木施設を除く

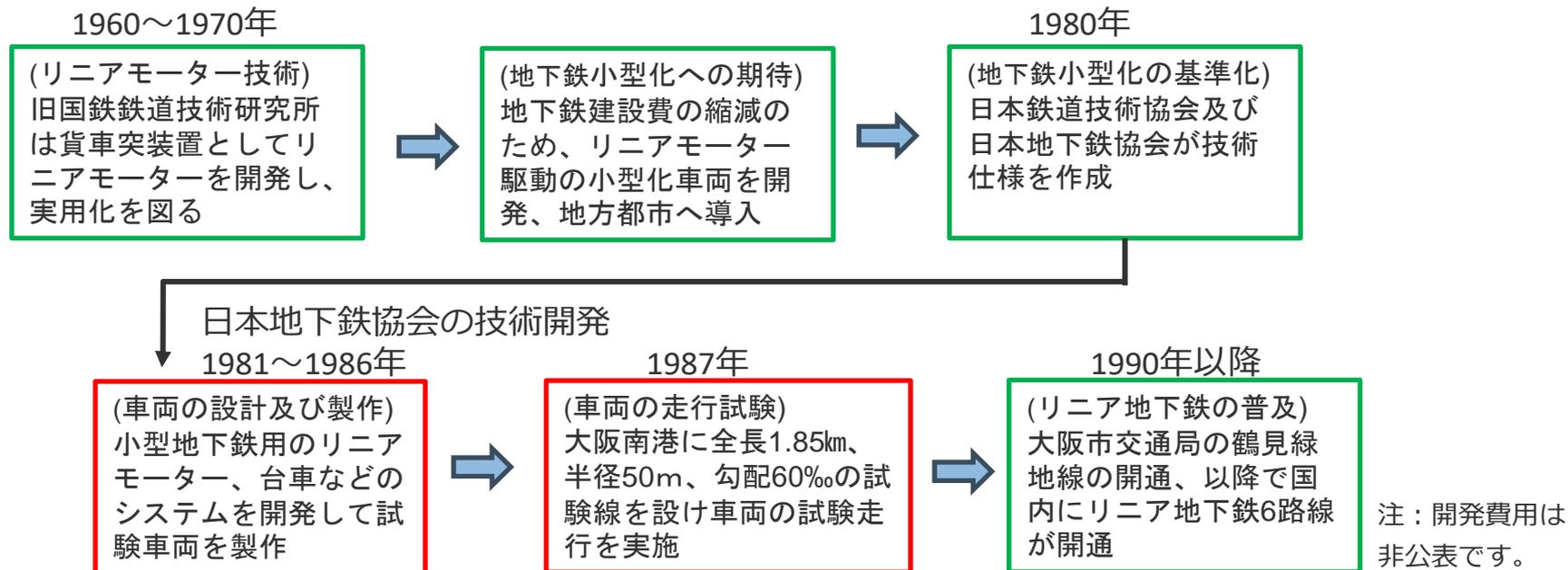
富士山登山鉄道の営業キロは日暮里舎人線の約2.5倍  
 $482\text{億円} \times 2.5\text{倍} = 1,205\text{億円} \approx 1,340\text{億円}$

# 7. 課題解決に要する期間・費用の提示

## 7.2 富士山登山鉄道に適した車両開発に要する期間と費用の検討

- ヒアリング調査からスバルラインを走行するLRT（鉄輪）については試験線における実車試験を伴う新たな車両の開発が必要である。以下にリニア地下鉄・新交通システムの開発フロー・期間を示す。

### リニア地下鉄の開発



表：リニア地下鉄車両と従来の地下鉄車両との比較

	車両幅,長さ(m)	駆動装置	最高速度(km/h)	最小曲線半径(m)	最急勾配(‰)	中間車定員(人)
地下鉄車両の例	幅2.9,長さ20.0	回転モーター	110	100	35	150
リニア地下鉄車両	幅2.5,長さ16.5	リニアモーター	100	70	60	100

# 7. 課題解決に要する期間・費用の提示

## 7.2 富士山登山鉄道に適した車両開発に要する期間と費用の検討

### 新交通システム(AGT)の開発経緯

1970年代から

(中量交通システムへの期待)

中量の交通需要  
騒音・振動の軽減  
建設コストの縮減  
ランニングコストの削減  
未来的交通システムの提案

(技術仕様の概要)

車両の小型化  
ゴムタイヤを使用  
ガイドウェイ方式の採用  
自動運転の採用

1981年まで

(複数メーカーが開発)

VONA(日本車両)  
KRT(神戸製鋼)など  
博覧会,遊園地に導入  
大阪市,神戸市の営業線  
に採用

1983年以降

(技術仕様の標準化)

日本交通計画協会が  
標準規格を作成  
現在は9路線で営業さ  
れている

### 高速新交通システム(高速AGT)の開発 三菱重工(株) (最高速度60km/hを120km/hに)

2002年大型化

2016年高速AGT試験

(AGTの大型化)

海外の都市、空港の交通システム  
の需要増大、AGTの技術の特徴を  
生かして大型化

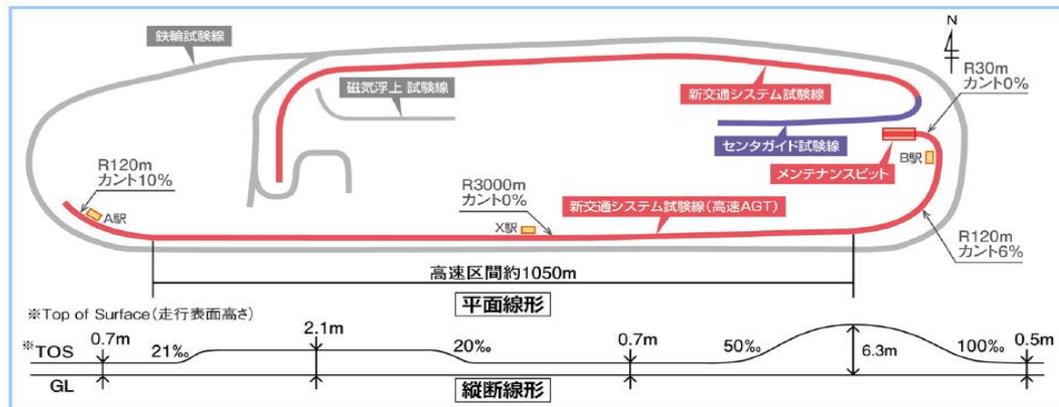
(AGTの高速化、大型化)

これまでのAGTの技術を生かした高開発、  
約3.2kmの鉄道軌道用の総合交通システム  
検証施設(MIHARA試験センター)を活用

注：具体的な開発期間、  
開発費用は三菱重工では  
非公表です。

参考資料: 三菱重工技報

Vol.40(2003)からVol.52 (2015)までの各号



MIHARA試験センターの高速AGTの試験線

# 7. 課題解決に要する期間・費用の提示

## 7.2 富士山登山鉄道に適した車両開発に要する期間と費用の検討

- 富士山登山鉄道の仕様を検討中であり、その開発コストを提示できないが、既往の新型車両の開発状況を踏まえると、開発コストは10～40億円の範囲と見込まれる。

車両	特徴	開発費用概算
東京都交通局 E5000形 電気機関車	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 設計・製作期間 約5年、2編成を製作</li> <li>* 機関車の特徴 大江戸線の小型の車両限界のため2両で1編成を構成する電気機関車 大江戸線8両編成車両(空車)を最急勾配50%、最急曲線半径80mを牽引 駆動モーターは、回転モーターを搭載 信号及びパンタグラフは、大江戸線と浅草線に対応するため2種類装備</li> <li>* 製造 川崎重工</li> <li>* 運用開始2006年</li> </ul>	 <p>10億円</p>
JR東日本 水素ハイブリッド電車 FV-E991系 HYBARI	<ul style="list-style-type: none"> <li>* JR東日本により2022年3月から実証実験を開始</li> <li>* FV-E991系の2両編成</li> <li>* 1号車の床下には電力変換装置と主回路蓄電池、 2号車の屋根上には水素貯蔵ユニット、 床下に水素の充填口や燃料電池装置を搭載</li> <li>* 製造 トヨタ自動車、日立製作所、日本車両、JR東日本</li> <li>* 運用開始2030年を目指している。</li> </ul>	 <p>40億円</p>
箱根登山鉄道 3000形	<ul style="list-style-type: none"> <li>※車両諸元</li> <li>・ 仕様線区：箱根湯本～強羅 ・軌間：1435 mm (標準軌)</li> <li>・ 基本編成 1M (単車) ただし、連結による編成組成可能</li> <li>・ 車両長さ 14 660 mm (カプラー間)</li> <li>・ 仕様線区での最急勾配 80 ‰</li> <li>・ 電気方式 直流750 / 1500 V (架線)</li> <li>・ 製造初年 2014年</li> </ul>	 <p>8億円/2台</p>

# 7. 課題解決に要する期間・費用の提示

## 7.2 富士山登山鉄道に適した車両開発に要する期間と費用の検討

- ヒアリング調査からスバルラインを走行するLRT（鉄輪）については試験線における実車試験を伴う新たな車両の開発が必要であり、リニア地下鉄やAGTの車両開発の事例を踏まえると以下の流れとなる。

- |  |   |
|--|---|
| ① 新たな車両の開発についての事業としての見通しと期待感をメーカー・事業者の双方が醸成・共有（3～5年） | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 急勾配・急曲線競合部を安定して走行する技術開発目途の確立</li><li>・ 厳冬期の運行に必要な設備の要求性能の検討</li></ul> |
|--|---|

### 事業主体の設立

- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| ② 新たな車両開発の機運の高まりを受けての車両の基本仕様の整理（2～3年） | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 車両の動力・制御システム、電力設備、信号通信システム、車庫・駅舎など基本仕様の検討</li><li>・ 厳冬期運行に必要な融雪設備の基本仕様の検討</li><li>・ 試験線における運用実験</li></ul> |
|---------------------------------------|---|

### 事業目論見書の作成／軌道特許取得

- |                              |   |
|------------------------------|---|
| ③ 車両／土木施設の詳細設計、入札図書の作成（3～5年） | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 車両の動力・制御システム、電力設備、信号通信システム、車庫・駅舎など詳細設計</li><li>・ 入札図書の作成 ・ 実線での安全照査</li></ul> |
|------------------------------|---|

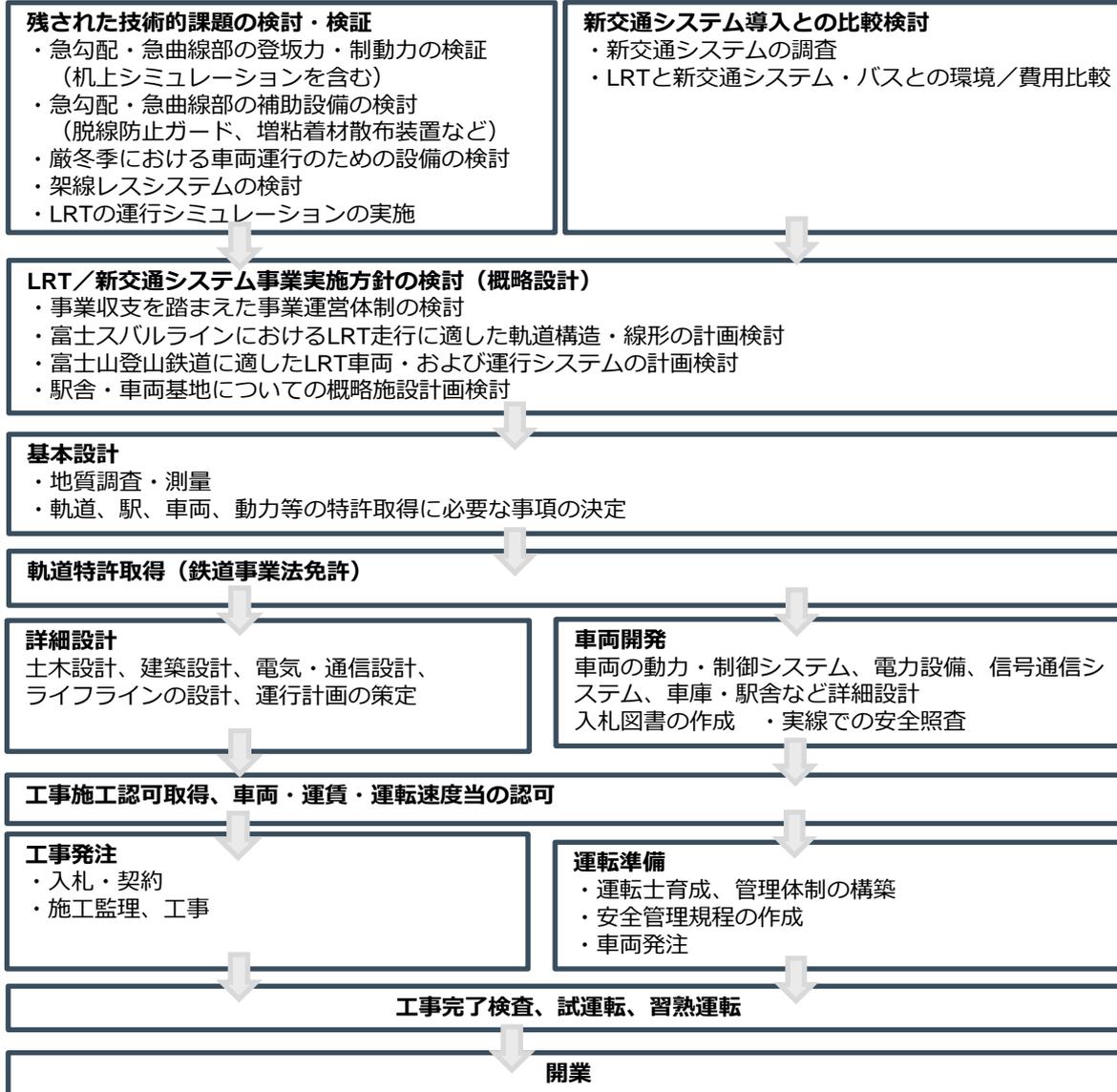
# 7. 課題解決に要する期間・費用の提示

## 7.2 富士山登山鉄道に適した車両開発に要する期間と費用の検討

- 第3回検討会議において、「過去の車両開発の事例から少なくとも10年の期間は必要」と提示したところ、検討委員からは「より短い期間での開発も可能ではないか」との意見を頂いた。
- 前述のとおり、スバルラインにおいてLRTシステムを導入するためには、急勾配・急曲線などの線形における登坂力・制動力の確保、架線レス化、厳冬期における設備など多様な問題を解決する必要がある。
- 今回の検討により、これらの個別の課題については解決の方法があることを確認したが、これらが複合的に作用する条件で事業として安定して走行を確保するためには、実車も含めたより慎重な検討が必要である。これらの開発期間については、今後導入する車両の基本システムに依存するが、いずれにしても相応の開発時間を要するものと考えられる。

## 8. 技術課題解決に向けたロードマップ<sup>o</sup> の策定

# 8. 技術課題解決に向けたロードマップの策定



スバルラインにおけるLRTシステムの運行は、複数存在する急勾配・急曲線の競合部の通行、冬季運行など課題が多い。

このため、来年度は、鉄輪式の車両の適用を基本としながらも、軌道法で運用可能な鉄輪以外のLRTシステム適用も視野にいれて検討することが望ましい。

## 8. 技術課題解決に向けたロードマップの策定

以下に、来年度における検討課題を例示する。

### (1) LRT導入のための課題精査（残された技術的課題の検討・検証）

- 急勾配・急曲線部の登坂力・制動力の検証（机上シミュレーションを含む）
- 急勾配・急曲線部の補助設備の検討（脱線防止ガード、増粘着材散布装置など）
- 厳冬季における車両運行のための設備の検討架線レスシステムの検討
- LRTの運行シミュレーションの実施

### (2) 新交通システム導入との比較検討

- 新交通システムの調査
- LRTと新交通システム・バスとの環境／費用比較

### (3) 新交通システム事業実施方針の検討（基本計画検討）

- 事業収支を踏まえた事業運営体制の検討
- 富士スバルラインにおけるLRT走行に適した軌道構造・線形の計画検討
- 富士山登山鉄道に適したLRT車両・および運行システムの計画検討
- 駅舎・車両基地についての概略施設計画検討

## 9. 課題認識の共通化

# 9. 課題認識の共通化

## ① 軌道に関する技術的課題

課題区分	優先検討課題	検討結果および検討会議での指摘
軌道に関する技術的課題	自動車の乗り入れに関する検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 自転車はレール側面の溝（フランジウェー）への車輪落下で転倒リスクがあり、原則禁止が望ましい</li> <li>・ 第三軌条を適用する場合は安全性の観点から詳細検討が必要</li> </ul>
	急勾配・急曲線部の線形改良の検討  R6調査で線形改良不要という結果を得ている	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 曲線半径50mにした場合、10m程度の切土盛土が必要で現実的でない。</li> <li>・ スイッチバックは100m以上の延伸となり、現実的でない。</li> <li>・ 厳冬期ではレール溝（フランジ・ウェイ）が積雪や凍結の影響を受けるため、慎重な検討が必要。</li> </ul>
	火山性地盤における軌道の安定性の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 工事段階で地盤改良などにより適切な路床路盤を構築すれば安定性は確保可能</li> </ul>

# 9. 課題認識の共通化

## ② 車両に関する技術的課題

課題区分	優先検討課題	検討結果および検討会議での指摘
車両に関する技術的課題	粘着方式による急勾配の推進・制動の可否の検討	<ul style="list-style-type: none"><li>• 平常時は粘着方式（鉄輪）であっても勾配自体は登坂・降坂可能。降雨時は車輪が空転するリスクがあるため増粘着材散布装置等の設備が必要。</li><li>• 急曲線・急勾配の競合部では乗り上がり脱線のリスクも増大することから、机上シミュレーション、室内試験、実車試験など詳細な検討が必要。</li></ul>
	第三軌条・バッテリーの併用車両の検討	<ul style="list-style-type: none"><li>• 第三軌条・バッテリーの併用車両は架線レスを実現する方法は有効。</li><li>• 併用軌道となるため、第三軌条の安全性については詳細な検討が必要。</li><li>• バッテリーなど車載機装の重量・容量が大きくなるため、車両成立を慎重に検討する必要。</li></ul>
	気象条件に対応する車両の開発	<ul style="list-style-type: none"><li>• 厳冬季の低温・凍結、強風、落雷に対応する車両の構造・機器・設備の検討が不可欠</li></ul>
	車両の低床・普通床型の比較検討	<ul style="list-style-type: none"><li>• 低床・普通床型の比較を行った結果、バッテリーなどの車載機装の観点、乗降箇所観点から普通床が有効と判断された。</li></ul>

## 9. 課題認識の共通化

### ③ 事業運行上の課題

課題区分	優先検討課題	検討結果および検討会議での指摘
事業運行上の課題	単線・複線軌道のダイヤグラムによる輸送量の比較	<ul style="list-style-type: none"><li>単線と複線軌道でダイヤグラムを作成し、輸送量を比較した。</li></ul>
	冬季運行の対応策の検討	<ul style="list-style-type: none"><li>冬季運行については車両だけでなく、除雪車両、除雪機会、雪崩対策、凍上対策などの地上側で実施するハード対策、運転規制、終夜運転、巡回警備体制などのソフト対策が必要である。</li></ul>
	LRTの輸送力と必要な車両編成数の検討	<ul style="list-style-type: none"><li>複線軌道で2編成連結（乗車定員120人）を基本として6分間隔運転を実施した場合の必要編成数を計算した結果、48編成が必要と確認された。</li></ul>
	LRTシステムに係るインフラ規模・性能の検討	<ul style="list-style-type: none"><li>LRT48編成は、過年度の直接事業費の算出時の想定と同等であることから、施設規模や事業費は概ね妥当と判断した。</li><li>近年実施された交通システム（日暮里舎人ライン）と営業キロ数あたり事業費と比較しても妥当と判断した。</li><li>ただし、近年は土木建設費が高騰していることから、今後の車両の基本構想を踏まえて直接事業費の算出精度の向上が必要。</li></ul>