

富士山新交通システム調査 検討業務委託

業務実績報告書

令和7年3月



日本工営株式会社

JTPA

公益社団法人 日本交通計画協会

— 目 次 —

1. 新しい交通システム導入の前提条件.....	1
1.1. 対象道路の概要.....	1
1.2. 対象エリアの気象状況.....	2
1.3. 過年度までのLRT導入検討の経緯.....	3
2. LRTシステム導入のための課題精査.....	4
2.1. 登坂性能・制動性能の検証.....	4
2.2. 架線レス化についての安全性・実現性の評価.....	8
2.3. 運行シミュレーションによる輸送力の評価.....	29
3. 新たな交通システムの検討.....	38
3.1. 今回対象とする交通システム.....	38
3.2. 動力源別の交通システムの運行状況および開発動向.....	45
3.3. 自動運転の導入可能性.....	49
3.4. エネルギー源を含めた環境負荷面への影響度合い.....	60
3.5. 経済面を含む地域への影響度合い.....	70
3.6. 法的面での適合性.....	78
3.7. 事業採算性の概略.....	92
3.8. メーカーや研究機関へのヒアリングを通じた開発可能性調査.....	109
3.9. 新たな交通システムの比較・評価.....	112
3.10. 富士トラムの国内導入に向けた技術的・法的面での課題整理.....	114
3.11. 富士トラム導入に係るコスト試算.....	134
4. 事業実施方式の検討.....	143
4.1. 事業実施方式.....	143
4.2. 軌道法による官民連携の法的位置づけ.....	149
4.3. 本構想による事業形態および内容.....	150
5. 課題認識の共通化.....	158

図 目次

図 1.1-1 富士スバルラインの線形.....	1
図 2.1-1 溝付きレールと車輪の曲線走行時の接触状態.....	4
図 2.1-2 推定脱線係数比による乗り上がり脱線の余裕度の評価方法.....	5
図 2.1-3 外軌輪重、外軌横圧、輪重減少の試算例に基づく解析図(第4ヘアピンカーブ)....	6
図 2.2-1 第三軌条(東京メトロ丸ノ内線)(左)、架線が二本あるトロリーバス(関電トンネル、2018年にEVバスに転換)(右).....	9
図 2.2-2 普通鉄道の帰線(架線とレール)(左)、トロリーバスの帰線(架線二本)(右).....	9
図 2.2-3 APS方式路面接触集電(シドニーLRT).....	10
図 2.2-4 APS方式の原理(埋設式電力ユニットから車両下の伝導区間のみ加圧する).....	10
図 2.2-5 新交通システムの軌道と側方軌条(図中では電車線と呼称).....	11
図 2.2-6 磁界結合型鉄道用非接触集電の構成.....	12
図 2.2-7 磁界結合型電気自動車用非接触集電の試験風景(柏の葉キャンパス)(左:路面埋め込みコイル、右:電源).....	13
図 2.2-8 米Purdue大学磁界結合型電気自動車用非接触集電の路面埋込コイル.....	13
図 2.2-9 電界結合型電気自動車用非接触集電の構成.....	14
図 2.2-10 世界初の電気鉄道車両(レプリカ).....	15
図 2.2-11 二次電池のエネルギー密度比較(民生用小型電池セルレベル).....	16
図 2.2-12 バッテリーパックとして組まれたリチウムイオン電池.....	16
図 2.2-13 JR東日本V-E301系「ACCUM」(左:架線無し、右:充電架線あり).....	17
図 2.2-14 スーパーキャパシタの構造と充放電.....	17
図 2.2-15 台湾・高雄市MRT(左:無架線駅間、右:駅充電架線).....	18
図 2.2-16 いすゞ自動車「ERGA EV」の外観と機器配置.....	20
図 2.2-17 燃料電池の種類と応用.....	21
図 2.2-18 PEFC燃料電池の構造と動作原理.....	22
図 2.2-19 燃料電池スタック.....	22
図 2.2-20 燃料電池自動車システム例(トヨタMIRAI).....	23
図 2.2-21 トヨタMIRAI燃料電池自動車.....	23
図 2.2-22 燃料電池鉄道車両に関する国際規格体系.....	24
図 2.2-23 JR東日本HYBARI燃料電池車両.....	24
図 2.2-24 フランス・アルストム社iLINT燃料電池車両.....	25
図 2.2-25 ディーゼルエンジンの構造.....	25
図 2.2-26 水素ステーションの構成例.....	26
図 2.2-27 水素の種類.....	27
図 2.3-1 ランカーブと時間曲線の例.....	30
図 2.3-2 急曲線区間の車両のすれ違い.....	31
図 2.3-3 曲線を走行する車両の偏りW1、W2.....	31
図 2.3-4 曲線区間の車両偏りと建築限界の拡大.....	32
図 2.3-5 曲線半径27.5mの第4ヘアピン平面図.....	32
図 2.3-6 曲線区間の道路片勾配と軌道のカント.....	33
図 2.3-7 路線の各駅位置のイメージ.....	35
図 2.3-8 登り線のランカーブ.....	35
図 2.3-9 登り線の時間曲線.....	36
図 2.3-10 下り線のランカーブ.....	36

図 2.3-11 下り線の時間曲線.....	36
図 3.1-1 考えられる全ての交通システム.....	38
図 3.1-2 フランス・ニースの架線レス車両.....	40
図 3.1-3 イタリア・パトヴァのトランスロール.....	41
図 3.1-4 案内軌条と車輪の断面図.....	41
図 3.1-5 中国中車の磁気マーカ誘導式システム車両.....	42
図 3.1-6 名古屋ガイドウェイバスの磁気マーカ誘導試験風景（左：ガイドウェイ、右：停留所、両者とも路面中央に黒い磁気マーカ埋め込みあり）.....	42
図 3.1-7 サラワクメトロの白線読み取り式システム車両.....	43
図 3.1-8 いすゞ自動車の ERGA EV.....	44
図 3.2-1 外部から供給された電力を動力源とする輸送システム.....	45
図 3.2-2 蓄電池を動力源とする交通システム.....	46
図 3.2-3 水素を動力源とする交通システム.....	47
図 3.3-1 軌道の監視技術.....	50
図 3.3-2 電磁波の波長.....	51
図 3.3-3 自動運転レベル分け.....	52
図 3.3-4 LiDAR に関する技術.....	53
図 3.3-5 ステレオカメラ・周囲監視カメラ・ミリ波レーダーに関する技術.....	54
図 3.3-6 RTK-GNSS の技術.....	54
図 3.3-7 令和 6 年度地域公共交通維持確保改善事業補助金(自動運転事業関係費)概要.....	55
図 3.3-8 令和 6 年度事業にて採択された 99 地域.....	55
図 3.3-9 除雪トラック全景と車両に搭載された磁気センサおよび磁気マーカ.....	58
図 3.4-1 誘導系のパワーフロー.....	68
図 3.4-2 水素ステーションの主要設備.....	69
図 3.5-1 鉄道路線別の平均プレミア率.....	71
図 3.5-2 宇都宮 LRT の整備区間.....	72
図 3.5-3 富山 LRT 整備区間.....	73
図 3.5-4 新潟 BRT 整備区間.....	75
図 3.5-5 新潟県の従来のバスの運行システム(左)と BRT 導入後の運行システム.....	75
図 3.6-1 軌道法の体系.....	79
図 3.6-2 軌道運送高度化事業の概要.....	82
図 3.6-3 鉄道事業法の体系.....	84
図 3.6-4 旅客自動車運送事業の分類.....	86
図 3.6-5 軌道法と関係法令の関係性.....	88
図 3.6-6 社会資本整備総合交付金等による支援対象の基本的な考え方.....	90
図 3.10-1 モビリティへの水素利用に関する検討状況.....	119
図 3.10-2 高圧法の高圧ガス容器・附属品に係る技術基準の一元化.....	119
図 3.10-3 国産化が可能な要素技術全体図.....	121
図 3.10-4 車輪組台車構造の概要図.....	122
図 3.10-5 操縦システム例.....	123
図 3.10-6 想定する二車体四輪の車両とその走行モデル.....	126
図 3.10-7 シミュレーションの走行結果.....	126
図 3.10-8 中子タイヤ.....	128
図 3.10-9 サイド補強式ランフラットタイヤ.....	129
図 3.10-10 燃料電池からの排熱を利用した暖房.....	130
図 3.11-1 磁気マーカ敷設コスト.....	134
図 3.11-2 水素ステーション整備費の推移.....	135

図 3.11-3 水素ステーション運営費の推移.....	139
図 3.11-4 水素供給単価.....	140
図 3.11-5 水素輸送単価.....	140
図 3.11-6 水素ステーション運営費の推移.....	141
図 4.1-1 上下分離方式による官民の役割分担.....	143
図 4.1-2 各インフラにおける整備・保有・運営の役割分担.....	143
図 4.1-3 BTO 方式（サービス購入型）による官民の役割分担.....	144
図 4.1-4 BOT 方式（独立採算型）による官民の役割分担.....	145
図 4.1-5 BOO 方式（独立採算型）による官民の役割分担.....	145
図 4.1-6 BT+コンセッション方式による官民の役割分担.....	145
図 4.1-7 コンセッション方式による官民の役割分担.....	146
図 4.1-8 第三セクター方式による官民の役割分担.....	146
図 4.1-9 DBO 方式（サービス購入型）による官民の役割分担.....	147
図 4.1-10 エージェント方式による官民の役割分担.....	147
図 4.2-1 地域公共交通の活性化及び再生に関する法律の第 8 条と第 10 条.....	149
図 4.3-1 軌道法第 11 条（左）と鉄道事業法第 16 条（右）.....	150
図 4.3-2 地方税法第二百五十九条から二百六十一条（法定外普通税の新設変更）.....	154
図 4.3-3 地方税法第七百三十一条から七百三十三条（法定外目的税の新設変更）.....	154

表 目次

表 1.1-1	富士スバルラインの概要.....	1
表 1.2-1	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）.....	2
表 1.2-2	富士スバルライン（富士山有料道路）の月別営業状況.....	2
表 2.1-1	小田急箱根鉄道 3000 形と一般(参照)車両諸元.....	6
表 2.1-2	富士スバルラインに軌道を敷設した場合に想定される線形と推定脱線係数比.....	6
表 2.2-1	リチウムイオン電池とスーパーキャパシタの比較.....	18
表 2.2-2	いすゞ自動車 ERGA EV 諸元.....	19
表 2.2-3	架線レス化についての安全性・実現性の評価（ゴムタイヤ車両）.....	28
表 2.3-1	運行シミュレーションの前提条件と検討事項.....	29
表 2.3-2	箱根登山鉄道 3000 形と宇都宮 LRT の仕様.....	30
表 2.3-3	制限速度と道路片勾配、カント及び緩和曲線長.....	33
表 2.3-4	運転速度制限.....	34
表 2.3-5	所要時間（登り線・下り線）.....	37
表 2.3-6	表定速度及び所要時間.....	37
表 3.1-1	交通システムの一次スクリーニング.....	39
表 3.1-2	LRT の基本情報.....	40
表 3.1-3	中央案内軌条式ゴムタイヤ交通システムの基本情報.....	41
表 3.1-4	磁気マーカ誘導式システムの基本情報.....	42
表 3.1-5	白線誘導読み取り式システムの基本情報.....	43
表 3.1-6	電動バスの基本情報.....	44
表 3.3-1	鉄道の運転形態と自動化レベル.....	49
表 3.3-2	国内外の連節バスの開発状況.....	57
表 3.3-3	鉄道と自動車の自動運転の運転扱い対照表.....	59
表 3.4-1	内燃機関と電気運転の比較.....	60
表 3.4-2	燃料電池車両と蓄電池車両の比較（出力と容量の数値は誘導系）.....	61
表 3.4-3	消費電力量比較検討結果（誘導系）.....	64
表 3.4-4	燃料電池・蓄電池負担割合検討結果（誘導系）.....	65
表 3.4-5	消費電力量比較検討結果（EV バス）.....	66
表 3.4-6	燃料電池・蓄電池負担割合検討結果（EV バス）.....	67
表 3.5-1	経済波及効果および雇用効果.....	70
表 3.5-2	宇都宮 LRT ゆいの杜中央駅周辺の地価.....	73
表 3.5-3	富山 LRT 大広田駅周辺の地価.....	74
表 3.5-4	新潟 BRT 万代橋周辺の地価.....	75
表 3.6-1	事業の分類.....	78
表 3.6-2	複数の根拠法をまたがって運行する特殊事例.....	78
表 3.6-3	軌道事業に関する法律.....	80
表 3.6-4	軌道法第 26 条により準用する鉄道事業法の規定.....	80
表 3.6-5	軌道法が適用されている路面電車以外の事例.....	81
表 3.6-6	鉄道事業に関する法律.....	85
表 3.6-7	道路運送事業の分類.....	86
表 3.7-1	運行計画の前提条件と計算結果.....	93
表 3.7-2	各期のピーク・オフピーク時間帯の設定.....	93

表 3.7-3 年間車両キロの計算結果.....	94
表 3.7-4 LRT の初期費用.....	95
表 3.7-5 誘導系の初期費用.....	97
表 3.7-6 EV バスの初期費用.....	98
表 3.7-7 修繕費.....	100
表 3.7-8 動力費.....	100
表 3.7-9 法人税およびその他税.....	101
表 3.7-10 減価償却の設定.....	102
表 3.7-11 営業外費用.....	103
表 3.7-12 大規模更新が必要なインフラとそのサイクル.....	104
表 3.7-13 日本人と外国人の需要想定.....	105
表 3.7-14 県外と県内の実入数とその割合.....	106
表 3.7-15 外国人、日本人の県外および県内の想定需要とその割合.....	106
表 3.7-16 通常運賃および県民割運賃の想定需要と割合.....	106
表 3.7-17 収支分析ケース.....	107
表 3.7-18 全ケースの収支分析結果まとめ.....	108
表 3.8-1 ヒアリング実施先.....	109
表 3.8-2 追加ヒアリング実施先.....	110
表 3.9-1 評価結果.....	113
表 3.10-1 車両に対する制限と主な項目の例.....	115
表 3.10-2 基準を超える車両の走行に必要な手続き.....	116
表 3.10-3 富士トラム構成に必要な要素技術.....	121
表 3.10-4 対応可能なメーカと技術の概要.....	125
表 3.10-5 冬季における各種対策方法と留意点.....	127
表 3.10-6 実用化されているランフラット機能の特徴.....	128
表 3.10-7 無補給往復回数と必要タンク数.....	133
表 3.11-1 通信関係の初期費用.....	136
表 3.11-2 誘導系の初期費用（表 3.7-5 の再掲）.....	137
表 3.11-3 運営維持管理費.....	142
表 4.1-1 各事業実施方式による官民の役割分担.....	148
表 4.3-1 ツアー料金設定に関連する法律とその内容.....	151
表 4.3-2 各自治体を実施する居住者に限定した割引事例.....	151
表 4.3-3 外国人割引の事例とその内容.....	152
表 4.3-4 外国人割増し価格の事例とその内容.....	153
表 4.3-5 諸外国における二重価格の事例.....	153
表 4.3-6 法定外普通税（令和 5 年 4 月 1 日現在）.....	155
表 4.3-7 法定外目的税（令和 5 年 4 月 1 日現在）.....	155
表 4.3-8 年間税収ライン.....	156

1. 新しい交通システム導入の前提条件

1.1. 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た道路である。この道路は山梨県道路公社によって維持管理されている。

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（胎内洞窟入口交差点）～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。

表 1.1-1 富士スバルラインの概要

供用開始	昭和 39 年 4 月 1 日
延長	24.1 km（胎内洞窟入口交差点～五合目）
標高	1,050 m（胎内洞窟入口交差点）～2,305m（五合目）
標準幅員	8.0 m（構成 0.75m+3.25m+3.25m+0.75m）
勾配	横断勾配 15‰、縦断勾配平均 52‰、最大 88‰
最小曲線半径	27.5 m

出典：受託者



出典：受託者

図 1.1-1 富士スバルラインの線形

1.2. 対象エリアの気象状況

表 1.2-1 に過年度報告書で整理された富士スバルラインの終点である吉田口五合目の気象条件を示す。吉田口五合目の月別最高気温は、7月が最も高く 23.0℃で、最低気温は1月が最も低く -22.3℃である。最大日雨量は、9月が最も多く 277mm で、1月が最も少なく 64mm である。

表 1.2-1 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(℃)	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(℃)	-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

出典：「山梨県道路公社（富士スバルライン）」提供データより過年度調査が作成

スバルラインの営業実績は、下表に示す通り、多様な要因で営業区間が制限されているが、特に、冬季の凍結や降雪の影響が大きく、スバルラインの通行止めの要因となっている。

表 1.2-2 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）

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	雪崩注意報 凍結 降雪	雪崩注意報 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	雪崩注意報 凍結 降雪	

出典：富士山登山鉄道構想検討会 第1回理事会資料

このほか、富士山特有の課題として、強風、雪崩（スラッシュ雪崩）等の気象災害や富士山噴火、降灰など火山災害への対応、道路（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らを考慮して実施する必要がある。

1.3. 過年度までの LRT 導入検討の経緯

世界遺産富士山にふさわしい交通システムについて、様々な選択肢を幅広く視野に入れ検討する中で、令和3年2月に策定された富士山登山鉄道構想において、「富士スバルライン上に LRT を敷設」することが最も優位性が高いと評価された。その後、本構想に係る技術的課題や事業スキームの調査・検討を進めてきた。

この検討の中で、以下に示す四つの条件を満たす交通システムが最適であると結論づけている。本年度では、この条件を満たす交通システムの選定を行う。

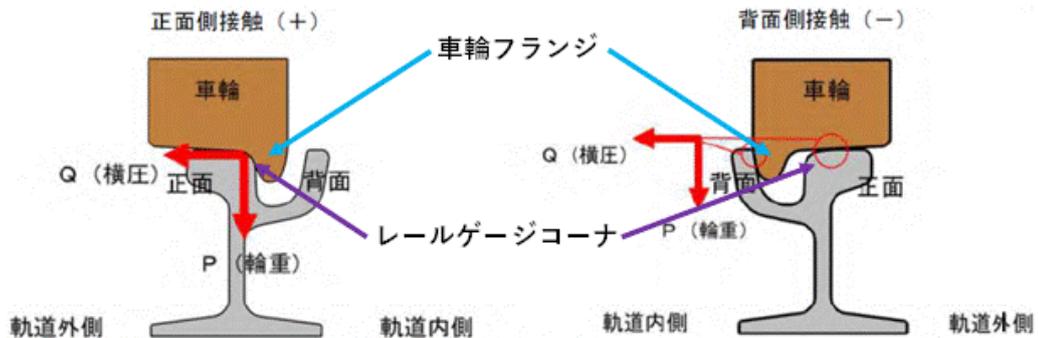
- ① 急曲線・急勾配の富士スバルラインを走行
- ② 緊急時には自動車が走行できる構造
- ③ 上空架線を用いないなど景観に配慮
- ④ 排気ガスを排出しない動力源での走行

2. LRT システム導入のための課題精査

2.1. 登坂性能・制動性能の検証

鉄車輪と鉄レールの LRT システムの導入を想定すると、基本的な登坂性能と制動性能に関しては、一般的な LRT を含む鉄道車両の性能より、登坂力及び制動力の面から、今回富士スバルラインに LRT 軌道を敷設した場合に想定される線形において、特段の問題はないと考えられる。したがって、登坂力及び制動力が十分であることを踏まえ、走行安全性を検討することとする。そこで、想定される線形における急曲線・急勾配において懸念される、車輪フランジ乗り上がり脱線の可能性を検討した。

この車輪フランジ乗り上がり脱線に関して、想定される溝付きレールと独立回転車輪の曲線走行時のレールゲージコーナと車輪フランジ接触の正面側接触と溝付きレールの溝背面と車輪フランジ背面の背面側接触の図を図 2.1-1 に示す。



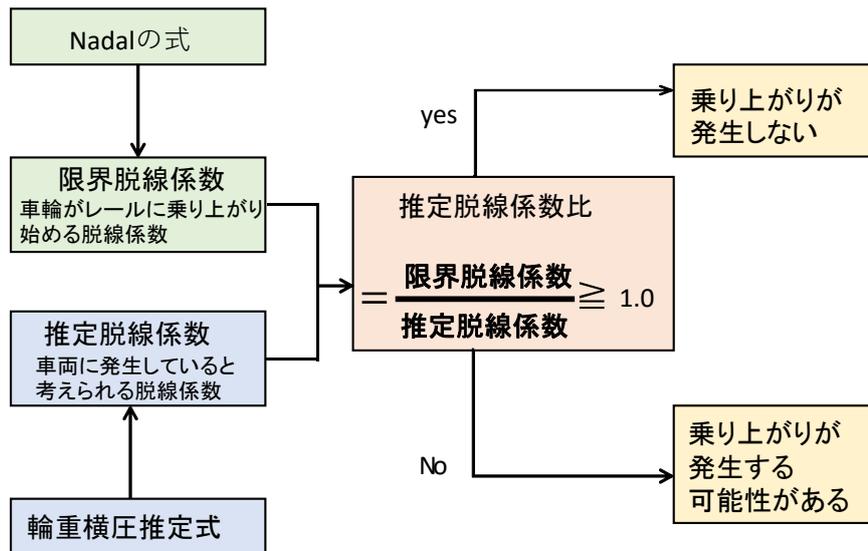
出典：受託者

図 2.1-1 溝付きレールと車輪の曲線走行時の接触状態

この正面側接触と背面側接触において、それぞれ車輪フランジ乗り上がり脱線が考えられるが、その両者の違いに関しては、未だ解明されていない点も多い。特に、背面側接触においては、今後の更なる研究成果が期待されている。

ここでは、背面側接触における脱線防止を優先しつつ、正面側接触における脱線の余裕度を評価する。今回検討した車両は登山鉄道として実績のある箱根登山鉄道の 3000 系車両を想定している。この車両が LRT の走行ルートを行き通ると仮定し、推定脱線係数比、横圧、輪重減少率を求めて低速時乗り上がり脱線に対する安全性を評価した。なお、営団地下鉄日比谷線脱線衝突事故調査等において得られた知見より、急曲線低速車輪フランジにおいて、低速ほど脱線しやすくなる特徴があることが分かっている。図 2.1-1 の正面側接触における車輪フランジ乗り上がり脱線に対して、今回の検討においてはその余裕度が低いことが懸念される 6 箇所の曲線を走行する場合を対象にしている。

図 2.1-2 に 1.0 以上が安全性の余裕度を示す推定脱線係数比を用いた乗り上がり脱線の余裕度の評価方法を示す。



出典：受託者

図 2.1-2 推定脱線係数比による乗り上がり脱線の余裕度の評価方法

参考として、表 2.1-1 に示す小田急箱根鉄道 3000 形に加え、特に急勾配・急曲線ではない勾配 30%以下、分岐器内の曲線を含む半径 110m 以上の曲線を走行するための車両を一般車両(一般-1 及び一般-2)として試算の対象とした。

表 2.1-2 に、静止輪重比、推定脱線係数比、横圧、輪重減少率等の試算結果を示す。静止輪重比は左右車輪が車軸で結ばれた輪軸の左右輪重のアンバランスの指標であり今回は 0.9 となっている。推定脱線係数比は走行速度 10km/h を基本条件としたときの外軌（曲線外側レール）側の 1.0 以上を安全と見なすものである。横圧は車輪から車両進行方向に対して直角方向（横方向）にレールに作用する力である。輪重減少率は輪重が静止状態の値に対して動的に減少する割合を示す指標である。

この試算結果において、いずれの曲線においても出口側緩和曲線中で最大となったため、出口側緩和曲線の試算結果のみを示す。出口側緩和曲線とは、直線から円曲線に直接乗移るのではなく、急激な加速度の変化を避けるために、円曲線に設定されるカントをゼロから所定の値まで滑らかに増減するために設けられる曲線のことをいう。

表 2.1-2 より以下のことが分かる。

- 推定脱線係数比は、いずれの曲線についても出口側緩和曲線の方が円曲線よりも小さい値であり、脱線に対する余裕度は出口緩和曲線の方が小さいが、その最小値は 1.56 であり、乗り上がり脱線に対する余裕がある。
- 横圧の最大値は 30kN 以下であるため、一般的なレール締結装置の設計荷重に対して余裕がある。一般的な設計荷重は、例えば 5 形：50kN、9 形：60kN となる。
- 輪重減少率の最大値は、29.0%であるため、乗り上がり脱線に対する静的な輪重減少率の目安値である 60%に対して余裕がある。

表 2.1-1 小田急箱根鉄道 3000 形と一般(参照)車両諸元

	単位	3000形	一般-1	一般-2
車両重心高さ	m	1.231	1.3	1.1
静的軸重	kN	87.8	59.0	55.0
外軌車輪の静止輪重比		0.9	0.9	0.9
軸間距離	m	1.8	2.2	2.0
台車中心間距離	m	8.5	12.4	12.0
上下軸ばね定数/1軸箱	MN/m	1.00	1.63	1.32
上下まくらばね定数/台車片側	MN/m	0.79	0.24	0.14
まくらばね前後剛性/台車片側	kN/m	0	126	80
左右軸ばね間隔	mm	1900	1930	1930
左右まくらばね間隔	mm	1900	1930	2000
車輪フランジ角	度	70	70	65
車輪踏面形状		円錐	円錐	円弧
軌間	mm	1435	1435	1435

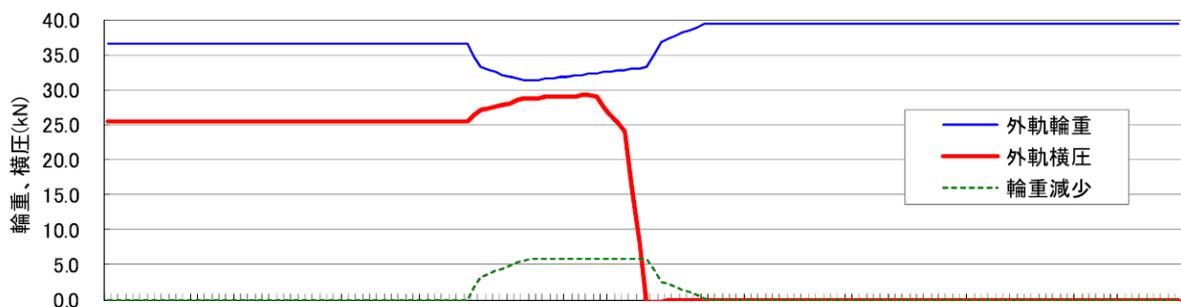
出典：受託者

表 2.1-2 富士スバルラインに軌道を敷設した場合に想定される線形と推定脱線係数比

試算条件	曲線 No.	静止輪重比	速度	場所	キロ程	平面線形				出口側緩和曲線			円曲線
						曲線半径 (m)	カント (mm)	緩和曲線長 (m)	カント逓減倍率(倍)	推定脱線係数比	横圧 (kN)	輪重減少率 (%)	推定脱線係数比
1	1	0.9	10	二合目過ぎ、二合目倉庫手前	14.6	36	86	30	349	1.63	28.5	27.8	2.03
2	2	0.9	10	第一ヘアピン	17.3	30	86	25	291	1.56	29.2	29.0	2.02
3	3	0.9	10	第二ヘアピン	18.2	29.5	86	25	291	1.56	29.2	28.9	2.02
4	4	0.9	10	第三ヘアピン	22.5	29	86	25	291	1.56	29.2	28.8	2.02
5	5	0.9	10	第四ヘアピン	24.5	27.5	86	25	291	1.56	29.3	28.5	2.02
6	6	0.9	10	第五ヘアピン	25.5	29.5	86	25	291	1.56	29.2	28.9	2.02

出典：受託者

上記の外軌輪重、外軌横圧、輪重減少の試算例として第4ヘアピンカーブを走行した場合の解析図を図 2.1-3 に示す。この図より、円曲線から出口緩和曲線にかけて外軌輪重が減少するとともに外軌横圧が増加する状況が理解できる。その結果、外軌の脱線係数が大きくなり、脱線に対する余裕度が減少することがわかる。



出典：受託者

図 2.1-3 外軌輪重、外軌横圧、輪重減少の試算例に基づく解析図(第4ヘアピンカーブ)

以上のことから、富士スバルラインに LRT 軌道を敷設した場合に想定される線形の条件においては、小田急箱根鉄道の 3000 形の諸元相当の車両であれば乗り上がり脱線に対して余裕があると考えられる。

なお、溝付きレールではなく普通レールが採用されている普通鉄道では一般に最小曲線半径は 160m、分岐器内は 110m とされている。脱線防止ガードの設置基準は、推定脱線係数比 1.2 未満の曲線とされているが、検討した曲線は半径が 40m よりも小さいため、脱線防止ガードの設置が望ましい。ただし、ここでは、図 2.1-1 に示す溝付きレールが採用されることを考慮すると、脱線防止ガードの役割が十分に果たせるような溝付きレールの計上等の検討が望まれる。

2.2. 架線レス化についての安全性・実現性の評価

2.2.1. 接触集電

(1) 鉄車輪・鉄軌道方式での接触集電

鉄車輪・鉄軌道の鉄道車両に対して車両屋根上の架線または軌道脇の第三軌条（図 2.2-1 左）から接触集電で外部から電力を供給するシステムは、19 世紀末から世界中で用いられている。また、地表集電方式として、地表面の走行レール中間の給電レールに車両通過時のみ電力を供給する APS 方式（図 2.2-3）は、2003 年に実用化している。

富士山新交通事業の令和 5 年度検討において、架線方式は景観面、第三軌条方式は歩行者等第三者への安全面への課題があった。

(2) ゴムタイヤ方式での接触集電

ゴムタイヤ車両への架線適用例としては、2 本の架線を用いるトロリーバス（図 2.2-1 右）が 1901 年から欧州を中心に世界各地で使用されている。また、欧州では道路貨物輸送での CO₂ 排出量削減を達成するために、高速道路の内側車線に 2 本の架線を設け、2 台のパンタグラフを設けた大型トラックに給電して走行する方式の実用化を目指している。

第三軌条方式とゴムタイヤ車両の組み合わせとしては、「ゆりかもめ」等の新交通システムが、車両の側方から 2 極（直流 750V と帰線）または 3 極（交流 3 相 440V）の集電を実施している（側方軌条と称する）。新交通システムでは車両に走行用車輪（ゴムタイヤ）とは別に左右案内用車輪（材質は FRP 等）を取り付け、走行路にも側方または中央に案内レールを設けている。そのため、車両と側方軌条との位置関係が大きく変動しないため、安定した集電が可能となっている（図 2.2-5）。

富士山新交通事業では、景観面への配慮から架線 2 本を配置するトロリーバス方式の適用は推奨できない。また、新交通システム同様の案内レール設置には多額の工事費を要するため、側方軌条設置にも困難があり、また側方軌条では第三軌条同様に第三者への安全面の課題が残る。このように、ゴムタイヤ車両への架線あるいは側方軌条を用いた連続給電は、技術的・経済的に実現が困難である。

(3) 帰線の確保

上述した架線・第三軌条・地表集電は、いずれも電力供給の帰線として鉄軌道（レール）を用いている。富士山新交通事業においてゴムタイヤ車両を適用する場合には、別途帰線を確保する必要が生じる。

家庭用コンセントには電極が二枚付いており、コードは二芯である。同様に、鉄道の接触集電方式では、変電所から車両に電力を供給する架線（または第三軌条・給電レール）と並行して、車両から変電所への電力経路となる帰線を確保する必要がある。普通鉄道では鉄製の2本のレールを帰線として、電流は変電所→架線（または第三軌条・給電レール）→車体（動力回路）→鉄車輪→レール→変電所の経路を流れる。後述するゴムタイヤ中央案内方式では、一本の案内レールを帰線としている。

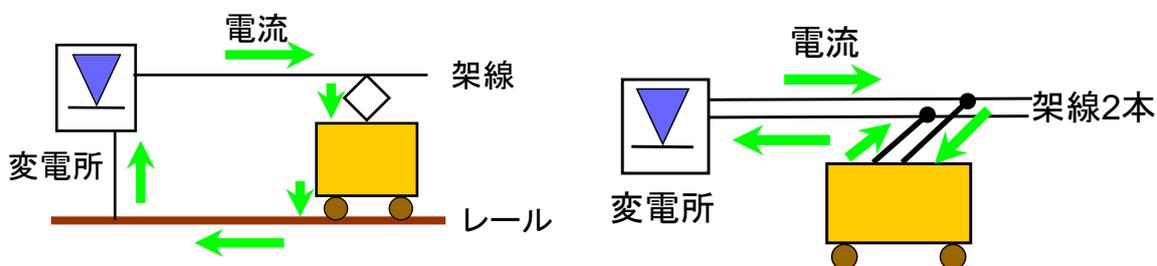
これに対して、トロリーバスではゴムタイヤが電気を通さず、また地上に帰線が用意できないため、架線を二本用いて一本目を電力供給、二本目を帰線としている（図 2.2-2）。集電装置も二組必要である。新交通システムのゆりかもめ・横浜シーサイドラインでは側方軌条から三相交流を集電しており、三相全てが接触していれば帰線回路が構成される。

架線レス方式では、帰線は不要となる。



出典：受託者

図 2.2-1 第三軌条（東京メトロ丸ノ内線）（左）、架線が二本あるトロリーバス（関電トンネル、2018年にEVバスに転換）（右）



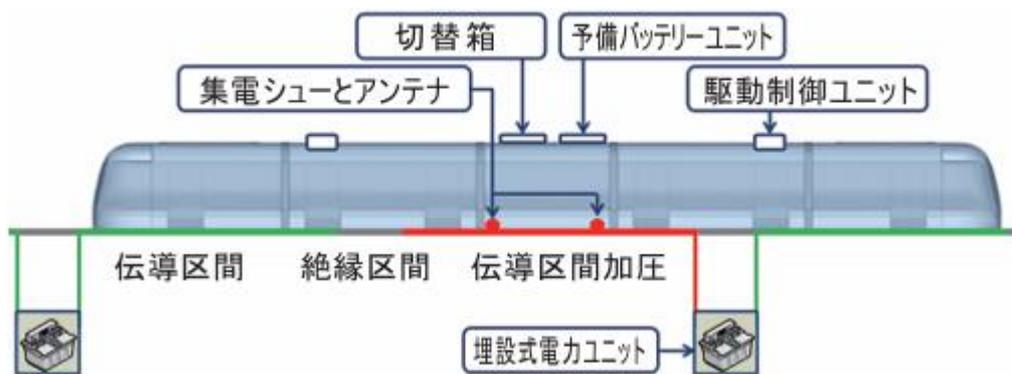
出典：受託者

図 2.2-2 普通鉄道の帰線（架線とレール）（左）、トロリーバスの帰線（架線二本）（右）



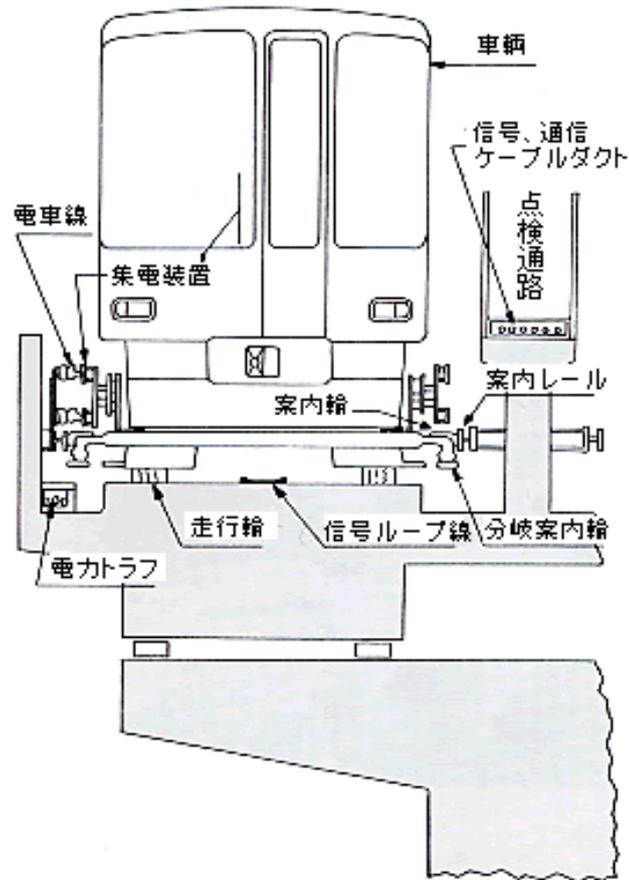
出典：受託者

図 2.2-3 APS 方式路面接触集電（シドニーLRT）



出典：ALSTOM 社カタログ

図 2.2-4 APS 方式の原理（埋設式電力ユニットから車両下の伝導区間のみ加圧する）



出典：横浜シーサイドライン HP

図 2.2-5 新交通システムの軌道と側方軌条（図中では電車線と呼称）

2.2.2. 非接触集電

路面または線路脇に敷設されたコイルまたは電極から、非接触で電力供給する。電気自動車用電源として、世界中で開発が進んでいる。景観が良く、積雪にも対応が可能である。

現段階で自動車用として開発中の各方式は、接触集電よりも供給可能電力が小さいため、富士山新交通事業のような連続勾配区間ではコイルまたは電極を連続的に敷設する必要がある。

(1) 磁界結合型非接触給電方式

磁界結合型非接触給電方式は、レール脇に銅製の電磁コイルを敷設して数百 kHz の電源を供給し、車上コイルと磁界共鳴結合させて電力を供給する。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。停止中充電用としては、2013年にはドイツ・ブラウンシュヴァイク市の EV バス用最大 200kW 容量で実用化された¹。2022 年からは東京大学を中心として、交差点停車中の充電を前提としたシステムが柏の葉キャンパスで実証試験が開始されている。

一方、走行中の連続的な電源供給方式としては、2024 年 4 月に米国インディアナ州の高速道路の 400m 区間において、パデュー (Purdue) 大学にカミンズ社が協力した地上コイルが設置され、実用に供されたと報告されている²。大型トラックへの電力供給を目的として、コイルのコンクリート路面への埋め込みを可能としている。伝送容量・電源周波数等の詳細データは 2025 年 1 月現在、公開されていない。



出典：ボンバルディア社 HP

図 2.2-6 磁界結合型鉄道用非接触集電の構成

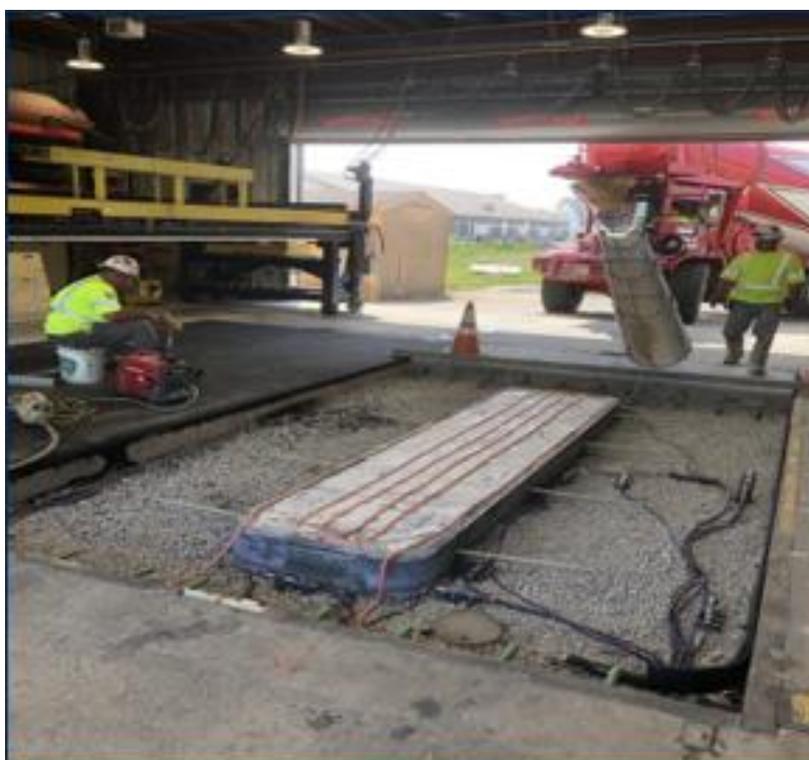
¹ World's First Electric Bus with Bombardier's PRIMOVE System Begins Revenue Service - News | Bombardier (2014 年 3 月 27 日付プレスリリース、2024 年 3 月 18 日参照)

² Building the first highway segment in the U.S. that can charge electric vehicles big and small as they drive (2024 年 5 月 2 日付 Purdue 大学プレスリリース、2024 年 12 月 18 日参照)



出典：受託者

図 2.2-7 磁界結合型電気自動車用非接触集電の試験風景（柏の葉キャンパス）
（左：路面埋め込みコイル、右：電源）



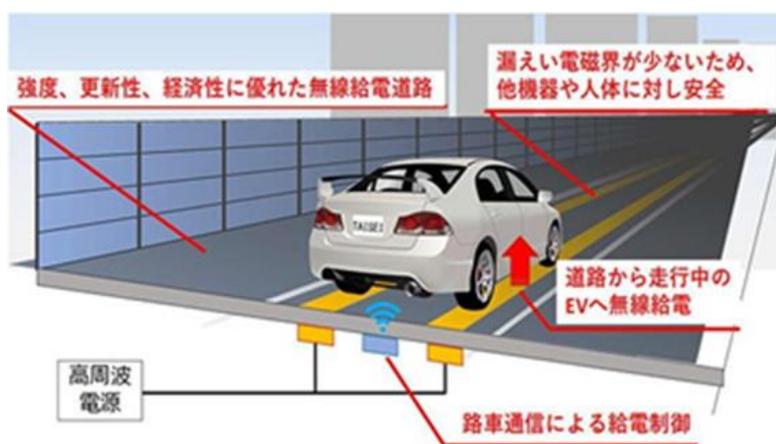
出典：INDOT: Indiana Department of Transportation

図 2.2-8 米 Purdue 大学磁界結合型電気自動車用非接触集電の路面埋込コイル

(2) 電界結合型非接触給電方式

電界結合型非接触給電方式は、レール中間にアルミ製電極板を設置し、数 MHz の電源を供給し、車上電極との間で電力を供給する。電極構造が簡単で安価となり、電極位置決め精度に対する許容度が大きい等の特徴を有している。そのため、道路から電気自動車への電力供給用として本方式は日本を含む世界中で開発が進められている。2022 年には日本の大成建設・豊橋技術科学大学・大成ロテックから 10kW 級の実用試験設備建設が発表されている。

電界結合式非接触集電は、2024 年の段階では電力容量が 10kW 程度と磁界結合式よりも一桁以上小さく、富士山登山鉄道で要求される一編成 622.1kW（本報告書 3.4.2 節より）の水準に達していないため、今すぐの適用は困難である。また、電極は安価だが高周波電源は高価となる等、磁界結合型とは相反する特性がある。開発が数年程度進んだ段階で、システム全体の可用性及び経済的な評価が可能となる見込みである³。



出典：大成建設 HP

図 2.2-9 電界結合型電気自動車用非接触集電の構成

³：高速道路に実装可能な無線給電道路「T-iPower Road」の実証を開始 | 大成建設株式会社 (taisei.co.jp)(2022年9月21日プレスリリース、2024年3月18日参照)

2.2.3. 蓄電媒体を搭載した車両についての安全性・実現性の評価

蓄電池やスーパーキャパシタといった蓄電媒体を搭載した車両は、走行路全般にわたる連続的な給電を必要としないため、外部から電力を供給する車両よりも地上設備の削減が可能となる。ここでは、蓄電媒体を搭載した鉄道車両および自動車の開発状況を示す。

(1) 鉛蓄電池を用いた鉄道車両

1879年にドイツのシーメンス・ハルスケ社が公開した、世界初の電気鉄道車両は鉛蓄電池を動力源としていた。鉛蓄電池は重量エネルギー密度が小さく、外部から架線等を用いて電力供給する方式の方が車両重量を軽減して高速かつ長距離運転できることから、20世紀の電気鉄道運転の主体は外部電力供給方式となった。蓄電池鉄道車両は、車両基地内等の短距離運転用途に限定されていた。



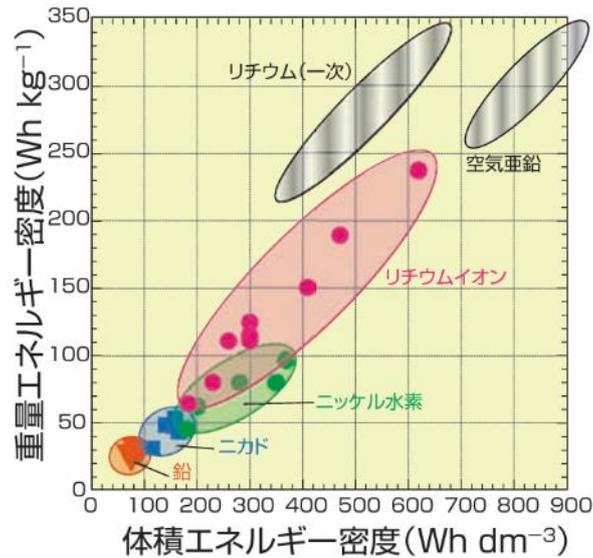
出典：受託者

図 2.2-10 世界初の電気鉄道車両（レプリカ）

(2) リチウムイオン電池

1980年代に実用化されたリチウムイオン電池は負極にカーボンまたはグラファイトに金属リチウムを含んだ化合物、正極にリチウムなどの金属酸化物の各種セラミック、これと有機電解液で構成される。正極・負極の材料は、世界中で様々な組み合わせが開発されている。

リチウムの原子番号は3、原子量は7と軽い元素であるため、リチウムイオン電池は重量エネルギー密度が極めて大きい。またリチウムはイオン化傾向が大きいため、単電池（セル）の電圧が4V前後と他の電池（乾電池は1.5V程度、ニッケル水素電池は1.2V程度）よりも高く、必要な電圧を得るための直列数を少なく構成できる。そのため、スマートフォン等携帯機器の電源として広く普及している。



出典：産総研

図 2.2-11 二次電池のエネルギー密度比較（民生用小型電池セルレベル）

一方、リチウムイオンは化学的に不安定な物質であり、かつ重量エネルギー密度が大きい
ため、充電された状態で衝撃等によって電池内部の正極と負極が短絡した場合、充電された
エネルギーが瞬間的に放出されて爆発的に発火する危険がある。そこで、大容量リチウムイ
オン電池では、頑丈なパッケージ内に電池と監視制御装置と組み合わせたバッテリーパック
（組電池）を構成して安全性を確保し、さらに、必要により組電池を複数接続している。そ
の結果、組み上げられた大容量リチウムイオン電池は、他の蓄電媒体と比較すると、理論的
重量エネルギー密度の差ほどの容量差に至っていない。

近い将来実用化が期待される固体リチウムイオン電池では、現行のリチウムイオン電池よ
りさらに大きい重量エネルギー密度が期待される。



出典：トヨタバッテリーHP

図 2.2-12 バッテリーパックとして組み立てられたリチウムイオン電池

(3) リチウムイオン電池を用いた鉄道車両

リチウムイオン電池の大容量化に伴い、鉄道車両用電源として、外部から電力供給する方
法に対しても経済的に代替となる見通しが立った。そこで、2000 年台から蓄電池鉄道車両
の開発が再開した。

日本では、閑散線区での電化コスト削減を目的として、2005 年に鉄道総合技術研究所が

試作した架線集電・蓄電池ハイブリッド車両 Hi-tram を皮切りとして、2014 年には JR 東日本が EV-E301 系「ACCUM」による架線集電と蓄電池のハイブリッド車両の営業運転を開始した。電化区間ではパンタグラフを上げ、架線から集電してモータを駆動して走行するとともに、蓄電池を充電する。非電化区間では、蓄電池の電力でモータを駆動して走行する。

本車両が営業運転する JR 東日本烏山線では、終端の烏山駅に充電専用の短い架線を設けており、列車が折り返し停車中にも蓄電池に充電可能としている。2016 年には JR 九州でも蓄電池を搭載した BEC819 系電車による、非電化区間直通営業運転が開始された。JR 九州では非電化運転区間が短いため、終端折り返し駅での充電設備を省略している。

海外では、地球温暖化対策として非電化区間のディーゼル車両の代替が急務となっている。代替に際して電化工事費用節約の方策の一つとして、対象線区の一部区間だけに電化工事を施して工費を節約し、架線・蓄電池ハイブリッド車両で全線直通運転を実施する部分電化方式が採用されている。

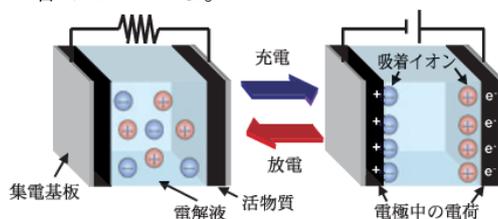


出典：受託者

図 2.2-13 JR 東日本 V-E301 系「ACCUM」（左：架線無し、右：充電架線あり）

(4) スーパーキャパシタを用いた鉄道車両

スーパーキャパシタは、アルミ板に活性炭を付着した電極二枚の間に液体の電解液を挟んで絶縁した構造であり、固体と液体の境界面に多量の電荷を蓄積する大容量のコンデンサである。電気二重層キャパシタ（または EDLC: Electric Dual Layer Capacitor）とも呼ばれる、蓄電池同様に大容量電力の充電及び放電が可能である。リチウムイオンをスーパーキャパシタの負極に添加したリチウムイオンキャパシタは、リチウムイオン電池同様の電気化学反応が加わって容量が倍以上に増加している。



出典：応用物理学会

図 2.2-14 スーパーキャパシタの構造と充放電

スペイン・CAF社は2011年にセビリア市において、スーパーキャパシタを蓄電媒体として、駅部分のみ架線を設備して車両を充電し、駅間は無架線として工事費用を節減するとともに、都市景観を向上する市内交通用の路面電車を実用化した。ドイツ・シーメンス社も同様のシステムを開発し、蓄電池と併用する形式で2010年にカタール・ドーハ市で営業運転している。東アジアでは、2015年開業の台湾の高雄市MRT環状軽軌線がこのような駅間無架線LRTを採用している。



出典：受託者

図 2.2-15 台湾・高雄市 MRT（左：無架線駅間、右：駅充電架線）

スーパーキャパシタとリチウムイオン電池の比較を以下に示す。リチウムイオン電池の方が、重量エネルギー密度が大きいため、長距離走行に向いている。そのため、非電化路線の気動車置き換えや、地下鉄・新幹線等大型車両の停電時非常用電源への採用が多くなっている。後述する蓄電池自動車の大規模かつ急速な開発によって、リチウムイオン電池の充放電特性が大幅に向上したことから、市内鉄道用蓄電媒体としての採用もある。

これに対して、スーパーキャパシタは高速繰り返し充放電に耐えるため、駅停車の都度充放電が繰り返される市内鉄道用蓄電媒体として採用が続けられている。

表 2.2-1 リチウムイオン電池とスーパーキャパシタの比較

	リチウムイオン電池	スーパーキャパシタ
重量エネルギー密度	実用化された二次電池としては最良	リチウムイオン電池に及ばない（市販品で 1/10～1/5）
充放電電力	瞬時充放電可能電力は、電池の内部抵抗によって制限される。開発によって急速に向上中	電子部品として動作するため、瞬時に大電力の充放電が可能
充放電回数	充電深度が大きい充放電の繰り返しによって、劣化進む	充放電による劣化がほとんど無く、充放電回数に制限無し
資源・価格	リチウム産出国は南米等に限定され、戦略物資として取引されている。世界的な競争により、価格は低下中	高分子を主体としており、材料入手が容易。リチウムイオンキャパシタの場合は、リチウム入手に電池と同様な制限あり

出典：受託者

(5) リチウムイオン電池を用いた自動車

環境対策として走行時に CO₂ および窒素酸化物 NO_x を排出しない利点から、1980 年代にニッケル水素電池自動車が販売され、2000 年代からは高エネルギー密度のリチウムイオン電池自動車が販売された。

急速な開発によって航続距離延伸、コスト低減が進み、2020 年代に入ると米国 Tesla 社・中国 BYD 社を中心として、年間数百万台以上の BEV (Battery Electric Vehicle) 乗用車が生産されている。また、中国では補助金政策によって、数万台に上る EV バスが普及しており、BYD 社の EV バスは日本にも多数輸入されて営業している。なお、蓄電池だけをエネルギー源とする自動車を BEV または単純に EV、エンジンと蓄電池を搭載したハイブリッド電気自動車を HEV (Hybrid EV) または単純に HV、外部充電可能なハイブリッド電気自動車を PHEV (Plug-in HEV) または単純に PHV、燃料電池自動車を FCEV (Fuel Cell EV) または単純に FCV と呼ぶ。

国産の EV バスの一例として、2024 年 5 月に販売開始されたいすゞ自動車の EV バス ERGA EV では、245.3kWh のリチウムイオン電池を屋根上および後部に搭載している。充電深度 20% から 80% までの充電時間は 3.2 時間としており、一回の充電で 360km 走行可能としている。

表 2.2-2 いすゞ自動車 ERGA EV 諸元

項目	諸元
式	ZAC-LV828L1
全長×全幅×全高	10,545mm × 2,485mm × 3,330mm (設計値)
ホイールベース	4,990mm
モータ種類	交流誘導電動機
最大出力 / 最大トルク	250kW (125×2) / 960N・m (480×2)
バッテリー種類	リチウムイオンバッテリー
バッテリー容量	245.3kWh (社内参考値)
充電方式	急速充電 (CHAdeMO)
一充電走行距離	360km (30km/h 一定速、国土交通省届出値)
最小回転半径	7.8m
乗車定員	70 人 (立席含む)

出典：いすゞ自動車プレスリリース 2024 年 5 月 28 日付

<販売目標台数>

150 台/年

<東京地区希望小売価格>

型式 ZAC-LV828L1 : 59,801,800 円 (消費税込み 65,781,980 円)



出典：いすゞ自動車プレスリリース 2024 年 5 月 28 日付

図 2.2-16 いすゞ自動車「ERGA EV」の外観と機器配置

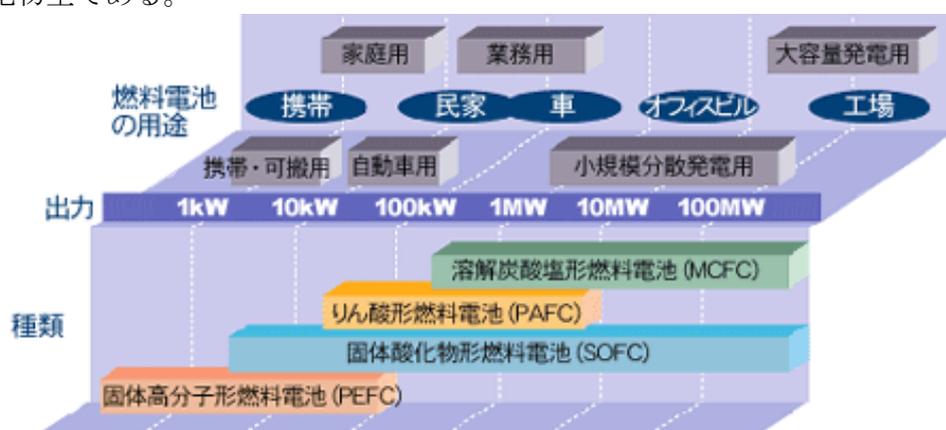
2.2.4. 水素燃料の動力源を用いる車両についての安全性・実現性

車両に水素を搭載し、燃料電池または水素エンジンを動力源とする車両の開発・実用化動向を以下に示す。

(1) 燃料電池

燃料電池は水素と酸素を装置内で反応させ、電気エネルギーを取り出して水を排出する。リチウムイオン電池と異なり充電する機能は無い。したがって、燃料電池は水素を燃料とする発電装置と解釈できる。

1960年代アメリカ合衆国の月着陸を目指したアポロ計画において、宇宙船内電源としてアルカリ型燃料電池が実用化された。地上定置発電用としては、リン酸型、熔融炭酸塩型、固体酸化物型等が実用化もしくは開発されている。例えば、家庭用燃料電池エネファームは固体酸化物型である。

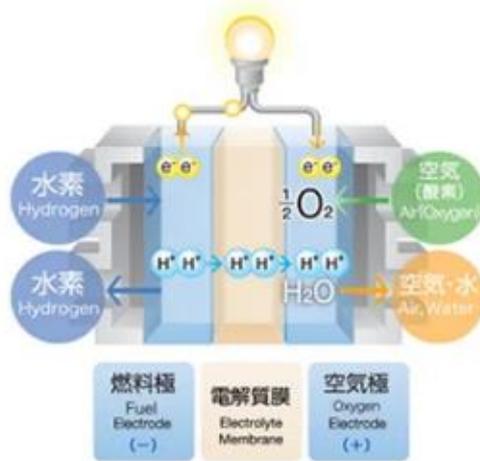


出典：JHFC 水素・燃料電池実証プロジェクト

図 2.2-17 燃料電池の種類と応用

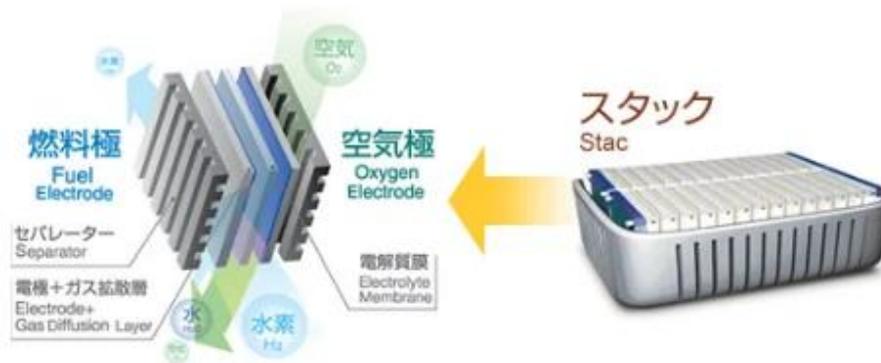
現在は移動体動力用としては、1980年代にカナダ・バラード社で開発された固体高分子型燃料電池（PEFC: polymer electrolyte fuel cell または PEM: proton exchange membrane fuel cell）だけが実用化されている（図 2.2-18）。以降、単に燃料電池と記述する場合は、固体高分子型燃料電池を指す。

水素・酸素の反応時に発生する電圧は 0.7V 程度と低いため、複数の電池を一体化して直列に接続してスタック（積層体）を構成して用いることが多く、燃料電池スタックと称している（図 2.2-19）。



出典：JHFC 水素・燃料電池実証プロジェクト

図 2.2-18 PEFC 燃料電池の構造と動作原理



出典：JHFC 水素・燃料電池実証プロジェクト

図 2.2-19 燃料電池スタック

燃料電池への水素供給方法としては、気体水素の直接供給以外にも、エタノール・天然ガス等を改質器で改質して水素を取り出す方法が実用化されている。エタノールは常温で液体のため取り扱いが容易、天然ガスは暖房用・自動車用等で供給ルートが確立している等の利点を持つ。しかし、移動体では改質器が車体内の空間・重量を圧迫するため、現在はほとんどの例で 35MPa または 70MPa の高圧水素タンクを用いている。

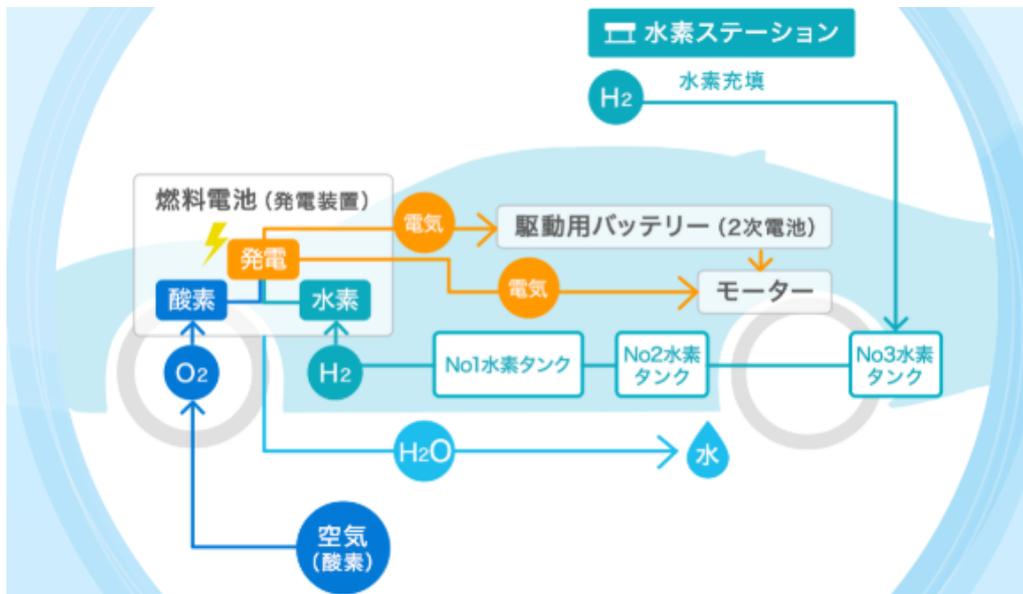
(2) 燃料電池を用いた自動車

燃料電池と高圧水素タンクで構成される移動体において、排出ガスは水蒸気だけであり、CO₂ と NO_x 等有毒物質を排出しない。

気体水素の場合は、充填時間はトヨタ MIRAI (乗用車) の実績で 3 分程度、トヨタ SORA (乗合バス) で 15 分程度である。蓄電池車両ではフル充電に 60 分から数時間を要するため、短い充填時間は、燃料電池車両の利点である。

燃料電池は、水の電気分解装置と物理的な構成はほとんど同じだが、現状では回生エネルギー

ギーの充電機能は実現していない。また化学反応に依存するために、車両発進時等の急激な出力変化に対応できない。そのため、燃料電池と並列に別途補助的に蓄電池を備える例がほとんどである。



出典：トヨタ Web カタログ

図 2.2-20 燃料電池自動車システム例（トヨタ MIRAI）

自動車での実用化状況は以下の通りである。

- 水素燃料電池を動力源とする自動車は 1980 年代から開発
- 2002 年に本田技研工業が FCX（乗用車）を少数リース販売
- 2014 年にトヨタ自動車が量産型のトヨタ MIRAI（乗用車）を販売し現在に至る
- 2018 年にはトヨタ自動車がトヨタ SORA（乗合バス）を販売開始
- 2024 年 3 月末の日本の燃料電池自動車登録台数は 8,051 台（うちバス 160 台）
-
- 海外では韓国、フランス等が大規模に市販している

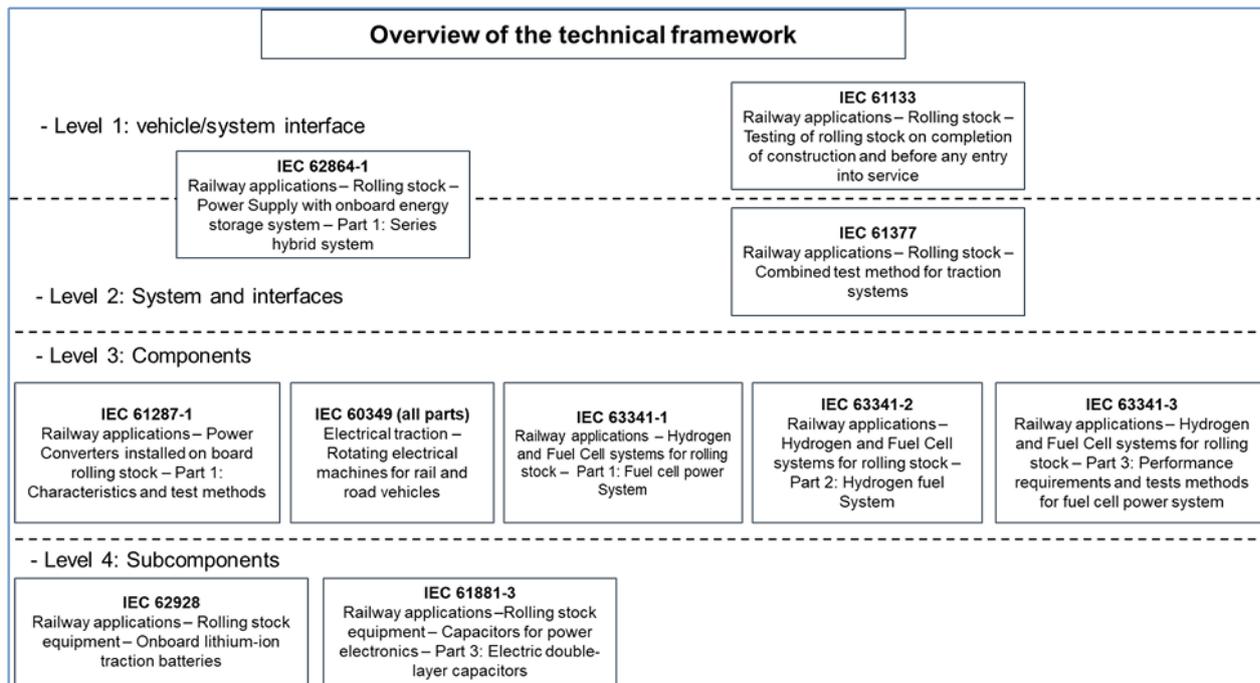


出典：トヨタプレスリリース 2014 年

図 2.2-21 トヨタ MIRAI 燃料電池自動車

(3) 燃料電池を用いた鉄道車両

燃料電池を動力源とする鉄道車両は、非電化区間のディーゼル車両置き換えによる低炭素化を目標として、2018年に実用化された。燃料電池鉄道車両の水素充填設備・タンク・性能確認試験方法等の国際規格 IEC 63341 シリーズが提案され、現在審議中である。



出典：鉄道総研鉄道国際規格センター

図 2.2-22 燃料電池鉄道車両に関する国際規格体系

日本では 2001 年度から鉄道総合技術研究所が燃料電池駆動システムの鉄道車両の開発を続け、鉄道総研構内で試運転を重ねている。JR 東日本は 2007 年度に「NE トレイン」を開発し、小海線において世界初の本線走行試験を実施した。2020 年度からはトヨタ自動車・日立製作所と FV-E991 系「HYBARI」車両を共同開発し、2022 年から試運転を開始した。



出典：JR 東日本プレスリリース 2020 年

図 2.2-23 JR 東日本 HYBARI 燃料電池車両

フランス・アルストム社と独航空宇宙センター共同開発の iLINT 車両が 2016 年に発表され、欧州規格認証を取得し 2018 年からドイツで世界初の営業運転を開始した。

中国中車（CRRC）も機関車等の燃料電池車両を開発し、世界各国に販売開始している。

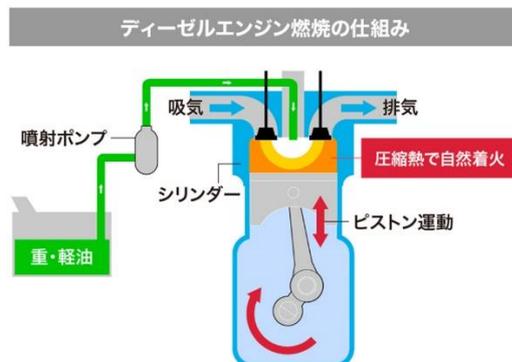


出典：ALSTOM 社プレスリリース 2016 年

図 2.2-24 フランス・アルストム社 iLINT 燃料電池車両

(4) 水素エンジン

水素エンジンは、ガソリンエンジン・ディーゼルエンジンと基本的な構造は類似しており、現在の開発では既存のガソリンエンジンまたはディーゼルエンジン（図 2.2-25、図中重・軽油のかわりに水素を供給）を改造する例が多い。



出典：ヤンマー社 HP「水素エンジンの仕組みをわかりやすく解説！」

図 2.2-25 ディーゼルエンジンの構造

エンジン内部のシリンダーで水素に着火して爆発的に燃焼させ、シリンダー内部の気体膨脹をピストンで捉えて回転エネルギーに変換する。車両への水素搭載は、燃料電池車両と同様に高压タンクを用いる構成が多い。

水素燃料エンジンを動力源とする自動車は、部品構成が既存の自動車と類似している。したがって、反応触媒としてプラチナ等の貴金属を利用する燃料電池よりも、安価な構成が可能である。水素純度が燃料電池より低くても良く、軽油等との混焼も可能である点も、価格低減要素である。また燃料電池と比較すると回転数応答が早いいため、車両の加減速に対応しやすく、大容量化も容易である。

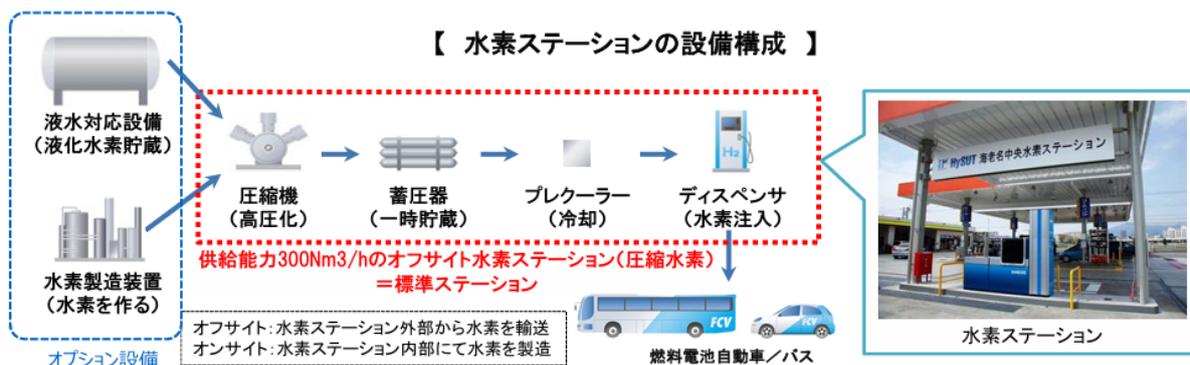
エンジンプレーキ機能は持つが、回生エネルギーを蓄積する機能は無いため、勾配線区においてエネルギー回生を実施する場合には、別途発電・蓄電機能の追加が必要となる。

2024年現在は、水素エンジンを搭載した自動車または鉄道車両は国内外での広い市販には至っていない。日本では東京都市大学が自動車開発の中心となってきた。トヨタ自動車も独自に開発して市販を目指しており、自動車レースにも参加している。また、水素エンジンと蓄電池を組み合わせたハイブリッド車両を用いて、2023年10月からオーストラリアでの公道実験を実施した。

なお、2025年春時点では、自動車・鉄道車両等の容量では燃料電池の方が水素エンジンよりもエネルギー変換効率が高いため、同量の水素での航続距離は燃料電池の方が長くなる。一方、船舶機関としては大容量・混焼可能等の適性が適しており、回生エネルギー蓄積も不要であることから、2021年に竣工した「ハイドロびんご」号が世界初の水素・軽油混焼ディーゼルエンジンを搭載した旅客船として実証試験運行中である。

(5) 水素ステーション

自動車に気体水素を供給する水素ステーションの典型的な構成を図 2.2-26 に示す。



出典：経産省「今後の水素ステーション政策の方向性について」2021.8.27 付

図 2.2-26 水素ステーションの構成例

(6) 水素の調達

水素ステーションに対しては、外部で水素を製造し、水素ステーションに運搬しなければならない。現在入手できる水素は、その製造方法及び製造エネルギー源によって数種類に分類されている。富士山新交通事業において環境負荷面への影響を評価する場合、使用する水素製造手段を把握する必要がある。

山梨県企業局 HP では、水素製造手段について、以下のように解説している。

グリーン水素：

グリーン水素とは、再生可能エネルギーを利用して作られた水素です。風力や水力、太陽光など再生可能エネルギー由来の電力を用いて水を電気分解し、水素と酸素に還元します。製造過程で二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスが排出されないため、環境に悪影響を与えず生産できます。

グリーン水素以外の種類：

水素は製造方法の違いによって、色分けした名称が付けられています。グリーン水素以外には下記の種類があり、水素製造方法によって環境に与える影響が異なります。

ブルー水素：

グレー水素と同様に化石燃料の「改質」により水素を取り出しますが、その過程で発生する二酸化炭素を大気に排出する前に回収・貯留するため、大気中の二酸化炭素を増やしません。

グレー水素：

石油や天然ガス、石炭などの化石燃料を利用して製造する水素です。化石燃料を燃焼させてガスにし、そのガスの中から「改質」と呼ばれる製造方法により水素を取り出します。この水素の製造過程において二酸化炭素が排出されます

なお、グリーン水素の定義は世界各国で異なり、標準化に向けて審議中である。各国とも、水素製造に際して、エネルギー源だけでなく製造設備及び運搬手段も考慮した CO₂ 発生量を用いた定量的な分類方法を提案している。グリーン・グレー・ブルー以外にも以下の分類が提唱されている。

グレー水素/ ブラウン水素	化石燃料、特に天然ガスの水蒸気改質から生産される水素。その生産には二酸化炭素の排出が伴う。石炭から製造される水素を稀にブラウン水素と分類することもあるが、多くの場合グレー水素で統一される。
ブルー水素	水素を製造する過程で生成される二酸化炭素を回収・地中貯留(CCS)することで、製造時二酸化炭素排出量を限りなくゼロに近づけた水素。実際はCCSの二酸化炭素回収率が100%にはならないことから、一定量の二酸化炭素が排出されることとなる。
グリーン水素	再生可能エネルギー由来の電力を用いた水の電気分解により生成される水素。
ターコイズ水素	メタンの熱分解によって生成される水素。炭素は生成されるが気体ではなく固体となって生成される。条件として高温反応炉は再生可能エネルギー起源の電力など二酸化炭素排出量正味ゼロのエネルギー源を用い、生成された炭素を封じ込めること。
イエロー水素	原子力発電による電力を用いた水の電気分解によって生成される水素。
ホワイト水素	他の製品生産プロセスの中で副産物として生成された水素。

出典：NTT データ経営研究所

図 2.2-27 水素の種類

2.2.5. 架線レス化についての安全性・実現性の評価

これらの電源を、富士山新交通事業における安全性・実現性の視点から評価する。

なお本評価における安全性とは、歩行者等第三者に対する接触時等の安全性を指す。富士山新交通事業の利用者及び乗務員等に対する安全性は、各方式とも十分に担保できるよう設計して使用する前提とする。

同様に本評価における技術実現性とは、純技術的に可能かどうかを示しており、本評価では経済性は評価していない。

表 2.2-3 架線レス化についての安全性・実現性の評価（ゴムタイヤ車両）

電源	方式	景観	走行距離	安全性	冬季対応	実現性
車載電源	1)蓄電池	影響なし	往復には支障なし	問題なし	低温下の容量低下に留意	富士トラムへの活用が期待できるが運用にあたっては給電時間の短縮が求められる
	2)燃料電池	影響なし	往復には支障なし	問題なし	低温下における生成水凍結防止策が必要	蓄電池やキャパシタとの併用により富士トラムへの活用が期待できる 水素インフラを他事業へ活用することも可能 0℃を下回るとFCスタック内に滞留した水の凍結により損傷する可能性があるがすでにトヨタのMIRAI等で対策技術は実用化されている。 詳細は3.10.2(4)8項参照のこと
	3)水素エンジン	影響なし	往復には支障なし	問題なし	低温下での走行実証が必要	燃料電池よりも開発が進んでいないため技術の進展を待つ必要がある 下りの回生エネルギーを活かすためバッテリー搭載も求められる
	4)キャパシタ	影響なし	途中での充放電が必要	問題なし	低温下での走行実証が必要	走行距離の詳細検討が必要 燃料電池との併用も考えられる
外部供給	5)架線	景観への影響あり	制限無し	架線切断には留意	積雪・強風下での対応が必要	技術的には可能だが、景観への影響が大きく、採用は困難
	6)第三軌条	地上設備に留意	制限無し	動物・人が接触しない対策が必要	除雪など積雪時の対応に留意	実用性が高いものの安全性を高める対応が求められる
	7)地表集電(接触型、APS)	影響なし	制限無し	地表の送電設備の取扱に留意	積雪下での送電が困難	積雪時の送電について解決策を講じる必要がある
	8)地表集電(非接触型)	影響なし	制限無し	問題なし	多少の積雪なら対応可	現状の送電容量を踏まえると技術の進展を待つ必要がある

出典：受託者

2.3. 運行シミュレーションによる輸送力の評価

運行シミュレーションは、車両の性能特性、軌道の線形及び運転条件により、動力学的に計算する運行シミュレーターでランカーブ（運転曲線）を算出し、運行本数や所要時間より輸送力も評価可能な手法である。シミュレーションを実行するには、車両性能の想定及び運転速度の設定が必要であり、現在の道路線形を前提に、車両の脱線を防止して乗心地を確保するために緩和曲線及び縦曲線設置の設定が必要である。前提条件と詳細事項を下表に示し、各項目の詳細内容を以下に述べる。

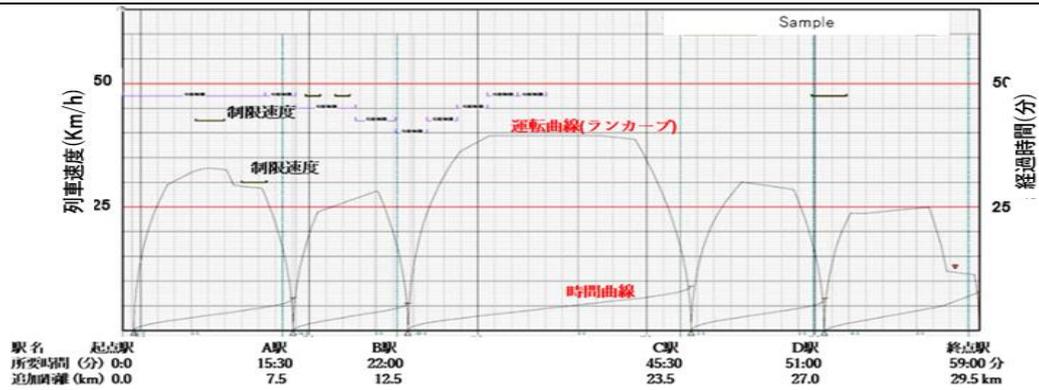
表 2.3-1 運行シミュレーションの前提条件と検討事項

項目	前提条件	詳細事項
1) シミュレーション概要	富士スバルラインの道路を前提に車両走行をシミュレートする	運行シミュレーター（Open Track）で輸送力を評価する
2) 走行車両	具体的な車両の寸法、加速及び減速性能曲線が必要	箱根登山鉄道 3000 型車両を想定する
3) 併用軌道の線形	現状道路の曲線半径を前提に、安全走行の為に緩和曲線を設定	複線軌道に緩和曲線を設ける併用軌道とする
	脱線防止と乗心地の確保のために縦断曲線半径を設定	道路構造令、国交省技術省令及び国内事例を参考に縦断曲線を設ける
4) 運転速度の制限	軌道法等において定められている速度制限と安全走行の為に速度制限を設定	軌道運転規則、国交省技術省令及び国内事例を参考に速度制限を設定する
5) シミュレーション結果の整理	ランカーブ、時間曲線を作成する	既報告の結果と比較する

出典：受託者

2.3.1. シミュレーションの概要

シミュレーションに用いるソフトウェアは、スイスの Open Track Railway Technology 社の Open Track と呼ばれるソフトを使用し、車両の走行位置とその位置における実速度からランカーブ（各地点における列車速度の軌跡を描いたもの）と時間曲線（駅からの経過時間）を作成する。ランカーブは、以下の図に示すとおり、起点からのキロ程を横軸、速度を縦軸に示し、駅間を列車が走行する状態をグラフ上に表している。横軸と縦軸の関係から走行時間を計算して時間曲線を求めることができる。ランカーブには走行する車両のパフォーマンスが配慮され、駅間の走行時間や走行状況から列車の運行計画や信号システム設計の基礎データとして一般的に利用されている。



出典：受託者

図 2.3-1 ランカーブと時間曲線の例

2.3.2. 走行車両

車両は、曲線半径 27.5m、勾配 80‰など鉄道車両の条件として加速及び減速性能に厳しい条件が要求される。このため、急曲線及び急勾配の条件が類似し、前述した乗り上がり脱線の安全評価で想定した箱根登山鉄道の 3000 形車両をシミュレーションに用いる。下表に参考として、宇都宮 LRT 車両と比較したものを示す。なお、架線レスに伴う機器の扱いについては、車両に搭載する機器の一部に含むものとする。

表 2.3-2 箱根登山鉄道 3000 形と宇都宮 LRT の仕様

	区分	箱根登山鉄道 3000 形	宇都宮 LRT HU3000 形
基本構成	車両編成	両端運転台の単車構造	3 両編成(3 車体連接車)
	空車質量(t)	39.5	39
	定員 (人)	75	160
	うち座席定員	36	50
車両寸法	車体幅(mm)	2,568	2,650
	車体長(mm)	14,130(連結器を含まない)	29,520
	車体高さ(mm)	3,953(パンタ折り畳み高さ)	3,625
	軌間(mm)	1,435	1,067
	車輪径(mm)	860	660
車両性能	最高速度(km/h)	55	70
	加速度(m/s ²)	4.0	3.5
	減速度常用(km/h/s)	4.0	4.4
	減速度非常(km/h/s)	4.5	5.0
	駆動モータ(kw/h)	200 (50kw/h×4 台)	100
	最急勾配(‰)	80	67
	ブレーキの種類	空気、電気、手動ブレーキ、レール圧着、の四つ	バネ式、電気、手、の三つ

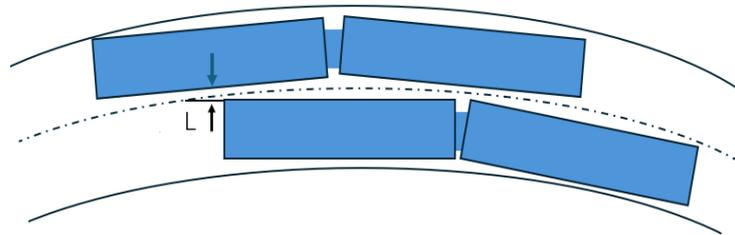
出典：受託者

シミュレーションは、車両性能を連続的に図で示す「力行性能曲線」と「ブレーキ性能曲線」を用いて行う。箱根登山鉄道 3000 形は、宇都宮 LRT HU3000 形と比較すると、車両長が約半分にも関わらず空車重量がほぼ等しく、急勾配への対応の為にモータ重量の増加と両運転台への対応などに依るものと考えられる。都市鉄道用の 20m 車両と比較しても駆動モータの出力が大きく、車両性能の加速及び減速性能が高く、急勾配に対応している特徴がある。

2.3.3. 併用軌道の線形

(1) 急曲線区間の車両のすれ違い

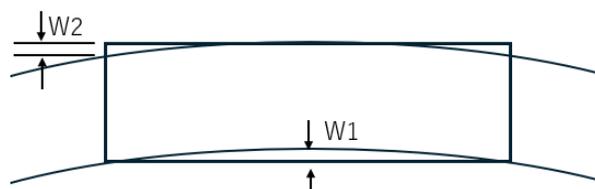
複線軌道の場合、急曲線区間で設定した速度で車両のすれ違いが生じる。箱根登山鉄道の 3000 形車両を想定して最急曲線半径 $R=27.5\text{m}$ の区間で問題無い事を確認する。



出典：受託者

図 2.3-2 急曲線区間の車両のすれ違い

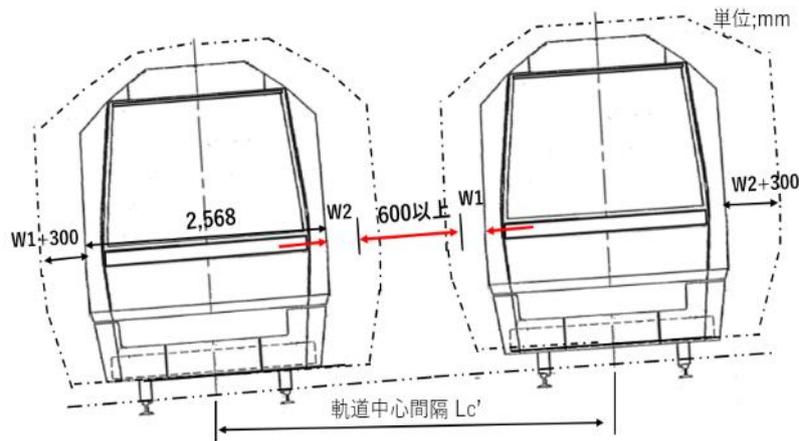
車両が曲線区間を走行する時に図 2.3-3 に示すとおり、車両の端部と中央部にはみ出しが生じる。この車両のはみ出しを「偏い」と言われている。国土交通省「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」第 20 条「建築限界」の曲線における車両の偏いの計算式により、検討を行う。



出典：受託者

図 2.3-3 曲線を走行する車両の偏い $W1$ 、 $W2$

車両偏いの計算式及び最急曲線半径 27.5m の計算例を参考資料の「曲線区間の車両偏い」に示す。



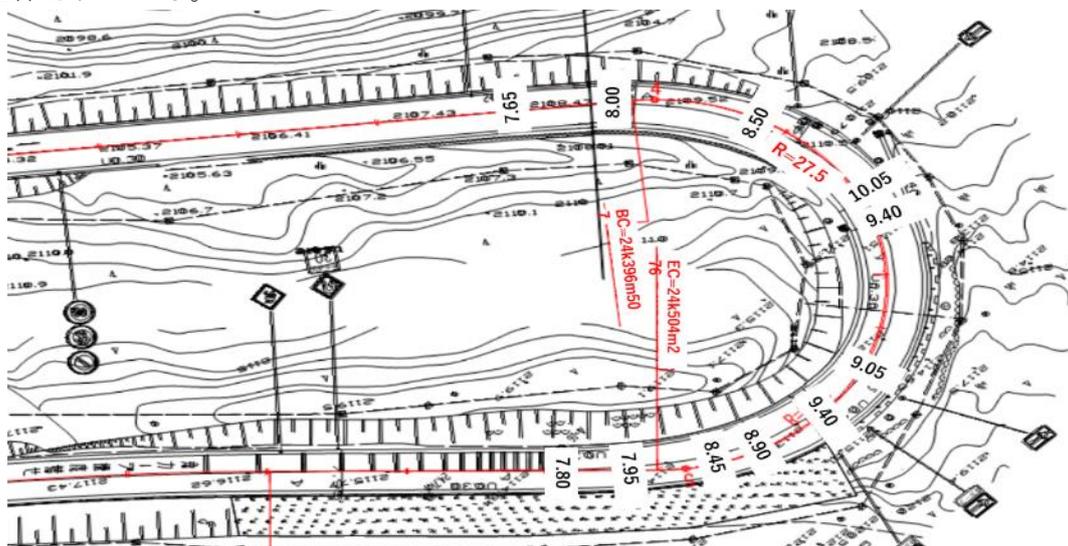
出典：受託者

図 2.3-4 曲線区間の車両偏いと建築限界の拡大

最急曲線半径 27.5m 区間の車両偏いは、 $W1=345\text{mm}$ 、 $W2=519\text{mm}$ であり、以下の通りとなる。

- 軌道中心間隔 (Lc') $Lc' = 4.03\text{m}$
- 複線車両の建築限界の幅員 (Lw') $Lw' = 8.06\text{m}$
- 軌道敷設に必要な幅員は 7.63m

一方、富士スバルラインにおいて最も厳しい条件である曲線半径 27.5m の第 4 ヘアピンの道路平面図では、曲線区間の幅員は約 8.0~10m、主要区間は 9m が確保されている。有効幅員を約 8m とすれば複線軌道に必要な幅員が概ね確保され、現時点ではすれ違いは可能と判断される。他のヘアピンカーブについては図面から判断すると道路幅員は、同様に 8.5~9m が確保されている。

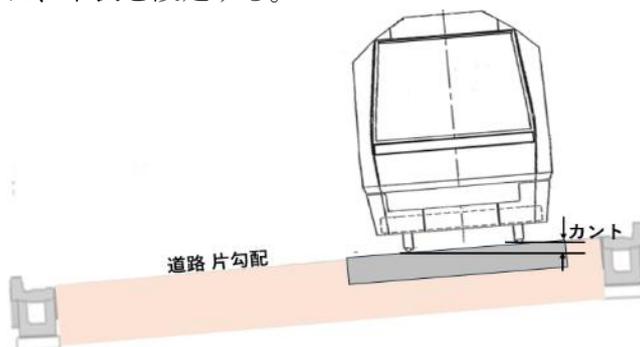


出典：受託者

図 2.3-5 曲線半径 27.5m の第 4 ヘアピン平面図

(2) 曲線（道路の片勾配と緩和曲線長）

平面曲線半径の変更は、工事に伴う切土による法面、盛土による擁壁の設置等が生じ、沿線への影響が想定されるため、行わない事とするが、併用軌道の線形では曲線区間においては脱線防止及び乗心地の確保のため、道路の片勾配と緩和曲線の設置が必要である。道路の片勾配は、鉄道のカントに相当し、横断勾配の条件となる。「2.1章 登坂性能・制動性能の検証」を配慮した運転速度、道路の片勾配及び緩和曲線長は、参考資料の「道路の片勾配と緩和曲線長」を参考に、下表を設定する。



出典：受託者

図 2.3-6 曲線区間の道路片勾配と軌道のカント

表 2.3-3 制限速度と道路片勾配、カント及び緩和曲線長

速度制限		片勾配及びカント		緩和曲線
登り勾配区間 (km/h)	下り勾配区間 (km/h) ^{*1}	道路片勾配 (%) ^{*2}	カント (mm)	緩和曲線長 (m) ^{*3}
40	25	6	86	50
35	25	6	86	50
35	25	6	86	50
35	25	6	86	40
30	25	6	86	35
25	25	6	86	35
20	20	6	86	30
15	15	6	86	25
15	15	6	86	25
15	15	6	86	25

*1 勾配が 50%を超える区間に適用、50%未満は登り区間最高速度に依る

*2 登りと下り区間の片勾配及びカントは同一の値とする

*3 緩和曲線長は、縮小又は省略を可能とする

出典：受託者

(3) 縦曲線（縦断勾配と縦曲線半径）

縦断勾配の変更は、現状の道路への盛土及び切土を伴うために原則として行わないものとし、ヘアピンカーブ等の急曲線区間において勾配の変更、縦曲線と平面曲線が競合するなど、特に走行安全を確保する場合に限り、影響を配慮して勾配を変更する。

縦曲線半径の技術基準に関して、道路の技術基準である道路構造令に規定される曲線半径は、鉄道の技術基準で制限される半径よりも小さな値が規定されている。このため、車両の走行安全性を考慮し、鉄道の技術基準を基本として参考資料の「縦曲線（縦断勾配と縦曲線半径）」に示す縦曲線半径 2,000m を原則とし、緩和曲線と縦曲線の競合を避けるなどの理由から 2,000m の確保が困難な場合は、国内の実績例を参考に 1,250m 以上とする。

2.3.4. 運転速度の制限

軌道運転規則第 53 条（車両の最高及び平均速度）では「車両の運転速度は、動力制動機を備えたものにあつては、最高速度は毎時 40 キロメートル以下、平均速度は毎時 30 キロメートル以下とする。」の制限が設けられている。運転速度の制限は、道路の技術基準である道路構造令、鉄道の技術基準の国土交通省「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」及び国内の路面電車の運転速度の事例を参照にして、富士スバルラインの急曲線、急勾配の線形に配慮して下に示す表とする。

表 2.3-4 運転速度制限

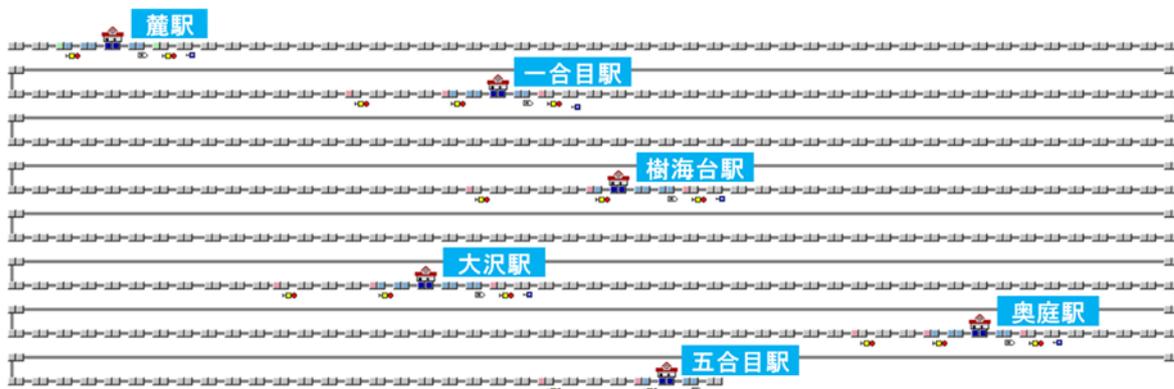
曲線半径	制限速度(km/h)	
	登り勾配区間	下り勾配区間*
400m を超える	40	25
400m 以下	40	25
300m 以下	35	25
200m 以下	35	25
100m 以下	35	25
80m 以下	30	25
60m 以下	25	25
40m 以下	20	20
30m 以下	15	15
20m 以下	15	15
15m 以下	15	15

*勾配が 50%を超える区間に適用、50%未満は登り区間最高速度に依る。

出典：受託者

2.3.5. シミュレーション結果の整理

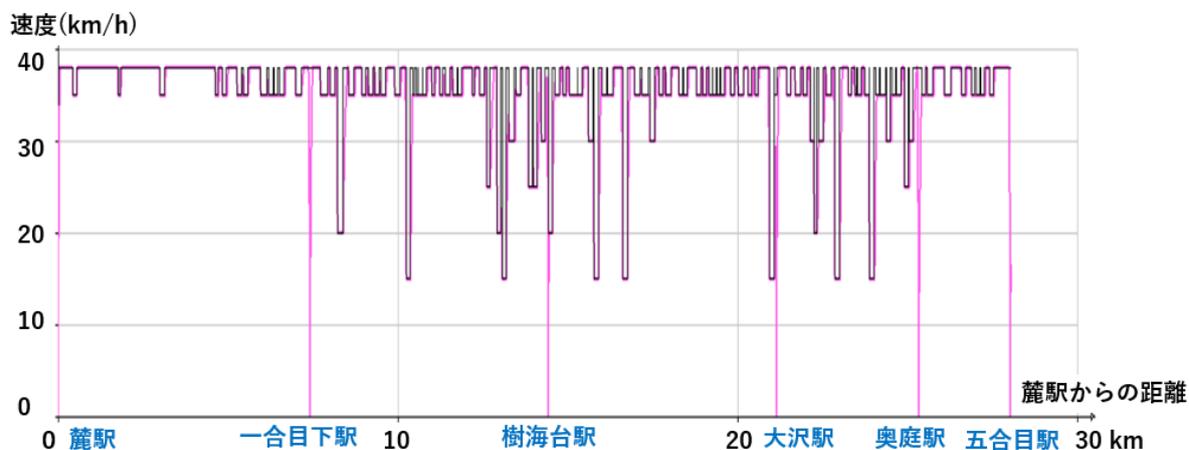
Open track を用いた運行シミュレーションによる所要時間を下表に示す。



出典：受託者

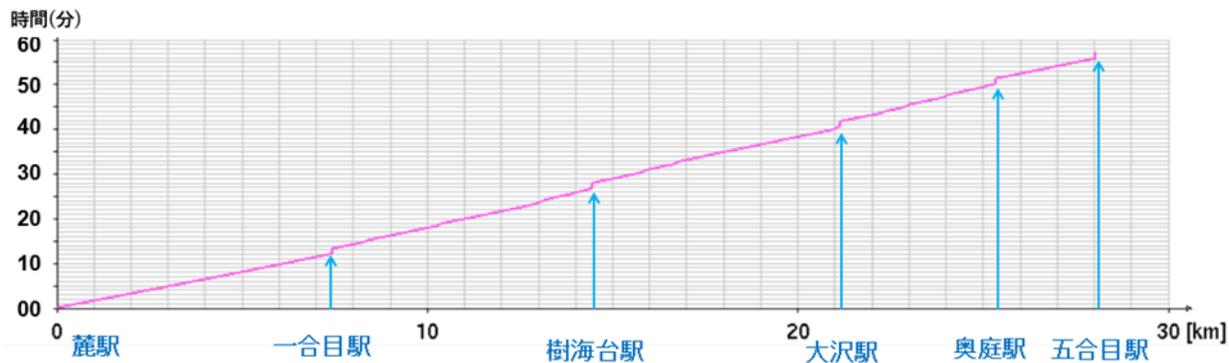
図 2.3-7 路線の各駅位置のイメージ

登り線のランカーブについて、運転速度制限表から最高速度は、直線及び半径 400m 以上の曲線を 40km/h、第 4 ヘアピンカーブを 15km/h、他のヘアピンカーブは 20km/h が適用されるが、乗り上がり脱線リスク評価の結果を参考にいずれのヘアピンカーブも 15km/h としてシミュレーションしている。



出典：受託者

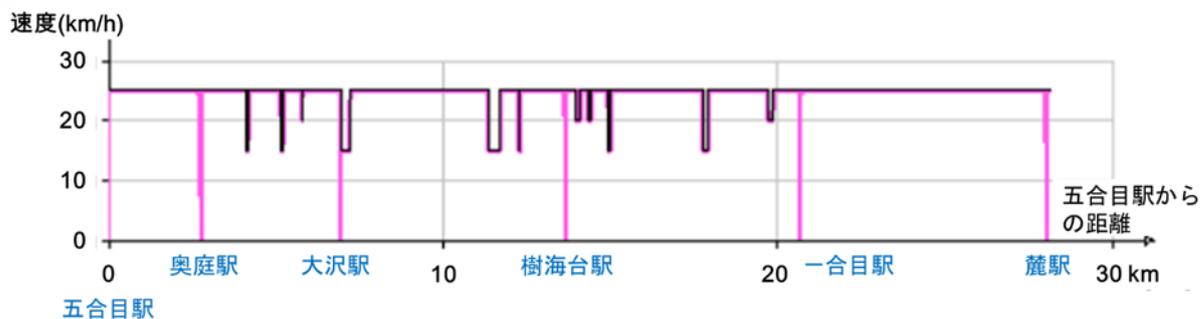
図 2.3-8 登り線のランカーブ



出典：受託者

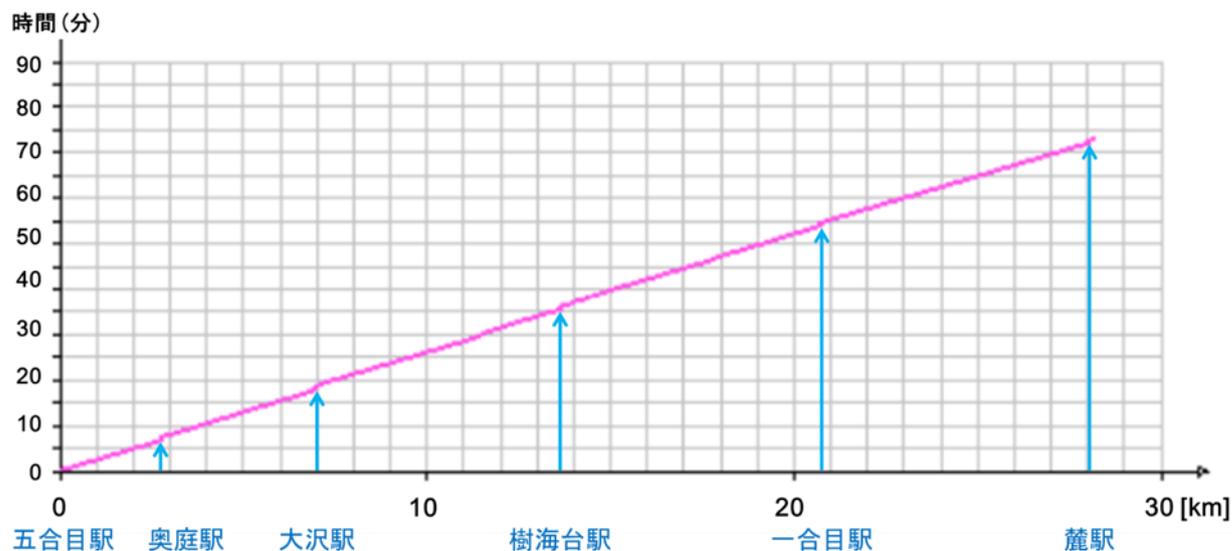
図 2.3-9 登り線の時間曲線

下り線のランカーブについて、下り線の運転速度制限は、ヘアピンカーブ等の半径 40m 以下の区間を最高速度 15~20km/h、その他の区間を最高速度 25km/h の制限を設けている。そのため、単純な図表となっている。



出典：受託者

図 2.3-10 下り線のランカーブ



出典：受託者

図 2.3-11 下り線の時間曲線

Open track を用いた運行シミュレーションによる所要時間を下表に示す。各駅の停車時間は、既報告から引用して 30 秒としている。

表 2.3-5 所要時間（登り線・下り線）

駅	所要時間（登り）	所要時間（下り）
麓駅	740 秒	1070 秒
一合目下駅	30 秒（停車）	30 秒（停車）
	820 秒	1070 秒
樹海台駅	30 秒（停車）	30 秒（停車）
	780 秒	1050 秒
大沢駅	30 秒（停車）	30 秒（停車）
	510 秒	630 秒
奥庭駅	30 秒（停車）	30 秒（停車）
	290 秒	420 秒
五合目駅		
合計	3,260 秒（54.3 分）	4,360 秒（72.6 分）

出典：受託者

登りは 54.3 分、下りは 72.6 分を要し、列車の往復に要する時間は 127 分となる。6 分間隔で列車を運行する場合、同時に運用される列車の編成数は 22 編成、予備編成を含むと 25 編成となる。なお、既報告の所要時分は 126 分で 21 編成、予備編成を含むと概ね 24 編成としている。往復時間について、架線レスの車両の場合は、蓄電池のみの車両であれば数時間単位の時間が必要であり、充電時間を考慮に入れて編成数を決める必要がある。

表 2.3-6 表定速度及び所要時間

	表定速度	所要時間
登り	低下：32.1km/h ⇒ 30.6km/h へ	54.3 分 既報告データから 2.3 分延長
下り	上昇：22.5km/h ⇒ 22.8km/h へ	72.7 分 既報告データから 1.3 分短縮

中間駅（4 箇所）の停車時間各 30 秒は変更無し

出典：受託者

3. 新たな交通システムの検討

3.1. 今回対象とする交通システム

3.1.1. 交通システムの全候補

2021年2月に公表された登山鉄道構想では、当時考えられる交通システムを検討した上で、富士スバルライン上にLRTを敷設する案が最も優位性が高いと評価された。本調査では、近年の車両技術等の進展を踏まえ、再度現時点で考えられる全ての交通システムについてスクリーニングを行う。図3.1-1に考えられる全ての交通システムを示す。近年、軌道不要で白線や磁気マーカで誘導を行う車両技術が世界で実用化され始めている。今回はそれらの交通システムを追加した。



出典：「富士山登山鉄道構想」をもとに受託者作成

図 3.1-1 考えられる全ての交通システム

3.1.2. 交通システムの絞り込み

前節で整理した考えられる全ての交通システムにおいて、これまでの検討の経緯から、新しい交通システムは以下の四つの条件を満たすものを選定する。

- ① 急曲線・急勾配の富士スバルラインを走行
- ② 緊急時には自動車が走行できる構造
- ③ 上空架線を用いないなど景観に配慮
- ④ 排気ガスを排出しない動力源での走行

表 3.1-1 に考えられる全ての交通システムの一次スクリーニング結果を示す。この結果、電動バス、白線読み取り誘導式システム、磁気マーカ誘導式システム、LRT、案内軌条式ゴムタイヤ交通システムの五つのシステムが条件に合致する。

表 3.1-1 交通システムの一次スクリーニング

交通システム	適合しない条件
電動バス（燃料電池バス含む）	-
白線読み取り誘導式システム	-
磁気マーカ誘導式システム	-
普通鉄道	①②③
新幹線	①②③
LRT	-
跨座式モノレール	②
懸垂式モノレール	②③
AGT	②③
ガイドウェイバス	②
中央案内軌条式ゴムタイヤ交通システム	-
ラックレール式鉄道	②③
ケーブルカー（鋼索鉄道）	①③
スカイレール	①②③
ロープウェイ（索道）	①②③
鉄輪式リニアモーターカー（リニアメトロ）	①②
リニアモーターカー（浮上式）	①②

出典：受託者

3.1.3. 選定された交通システムの事例紹介

(1) LRT

LRT は一般的には道路の中央に軌道を敷設し走行する。旧来の路面電車に比べ、バリアフリー性、定時性、輸送力に優れた車両を用い、充実した案内システムや高いデザイン性など、総合的に高質化された路面電車を特に LRT と呼ぶ。我が国では富山市や宇都宮市で導入されている。欧米では多数の事例がある。国立環境研究所の試算では LRT が排出する二酸化炭素は、車両・軌道・道路の製造・建設・メンテナンスも含めて自家用車の場合の約半分 (51%) であり、窒素酸化物については約 3 分の 1 (32%) に低減されるという結果が得られている。

LRT が導入されたフランスのストラスブール等では車両の進行に合わせて交差点での信号が自動的にかわる「優先信号方式」を採用、あわせて都心部の自動車規制を行い、安全・安心で歩きたくなるまちづくりを進めた。その結果、LRT の沿線を中心に地価が上昇し、高級ブランド店やチェーン店が次々に進出して商店街は活況を呈している。富山の例では利用者の中で高齢者の割合が 20% を占め、今まで出歩かなかった年齢層が街に出る効果も確認できている。独立懸架による車軸レスが可能にした 100% 低床式の車両の採用により、車いすやベビーカー等、交通弱者に対するバリアフリー化との相性も良い。



出典：受託者

図 3.1-2 フランス・ニースの架線レス車両

表 3.1-2 LRT の基本情報

項目	内容	
適用法	軌道法または鉄道事業法	
導入事例	富山市、宇都宮市、海外多数	
主な車両製造企業	国内企業	近畿車輛、アルナ車両、新潟トランシス
	海外企業	アルストム（フランス）、シーメンス（ドイツ）、カフ（スペイン）等
主な線形条件	最急勾配	軌道法では原則 40‰ 海外では 80‰～90‰級の勾配事例あり
	最小回転半径	軌道法では半径 11m 以上 宇都宮・芳賀ライトレールでの最小半径は 25m

出典：受託者

(2) 中央案内軌条式ゴムタイヤ交通システム

中央案内軌条式ゴムタイヤ交通システムは、中央にある一本の案内軌条によって誘導され走行する。その一本の案内軌条に車輪が跨るように接触し運行する。案内軌条は帰線を兼ねている。一般にはロール・インダストリー社が開発したトランスロールを指し、ゴムタイヤトラムとも呼ばれている。

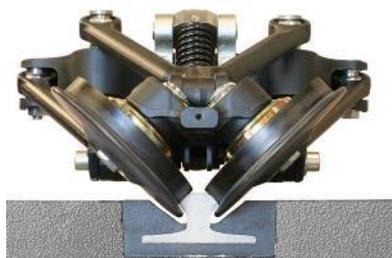


ゴム車輪で走行するため、急勾配や急曲線に強いシステムとなっていることが特徴的である。

出典：受託者

図 3.1-3 イタリア・パドヴァのトランスロール

日本国内では、2005年に堺市内にトランスロール試験線が設けられ、一年間にわたって試験走行が実施されたが、その後の実用化には至らなかった。



出典：<https://www.lemoniteur.fr/photo/projet-de-rail-guide-neoval.1916239/systeme-de-guidage-lohr.4#!>

図 3.1-4 案内軌条と車輪の断面図

表 3.1-3 中央案内軌条式ゴムタイヤ交通システムの基本情報

項目	内容	
適用法	軌道法または鉄道事業法	
導入事例	パリ 5・6 号線（フランス）、パドヴァ 1～3 号線（イタリア）、メデジントランピア（コロンビア）等	
主な車両製造企業	国内企業	-
	海外企業	アルストム（フランス）
主な線形条件	最急勾配	軌道法では原則 40% 車両性能上は 130%（メデジンの実績で 120%）
	最小回転半径	軌道法では半径 11m 以上 車両性能上は 10.5m

出典：受託者

(3) 磁気マーカ誘導式システム

磁気マーカ誘導式システムは、路面に埋設または貼付した磁気マーカに誘導され車両が走行する。日本では 2005 年の愛知万博で施設内交通として IMTS (Intelligent Multimode Transit System) が運行されたが、現在は運行終了している。

埋設型の磁気マーカは直径 3cm 程度のサイズで、軌道と比較すると導入コストを抑えることができる。施工は、対象箇所をドリルで削孔し、磁気マーカを設置、樹脂を充填し 30 分程度養生するのみである。磁力は半永久であり、少なくともアスファルト舗装の打換え期間より長いと考えられている。LRT と同程度の輸送力を持ち、ゴム車輪のため急勾配や急曲線にも強い。通常のバス車両を改造して磁気誘導する取組は国内で社会実験が行われている。



出典：中国中車

図 3.1-5 中国中車の磁気マーカ誘導式システム車両

2025 年に開催される大阪・関西万博では、磁気マーカ誘導式を用いた自動運転 EV バスが導入される予定である。

表 3.1-4 磁気マーカ誘導式システムの基本情報

項目	内容	
適用法	道路運送車両法、軌道法又は鉄道事業法	
導入事例	愛知万博 IMTS (期間限定)、気仙沼線自動運転 BRT、上海 1・2・3 号線、名古屋ガイドウェイバス (実証実験) 他	
主な車両製造企業	国内企業	車両：トヨタ自動車 磁気マーカ：愛知製鋼、先進モビリティ (自動運転システム)
	海外企業	中国中車
主な線形条件 (軌道法の場合)	最急勾配	軌道法では原則 40%
	最小回転半径	軌道法では半径 11m 以上

出典：受託者



出典：受託者

図 3.1-6 名古屋ガイドウェイバスの磁気マーカ誘導試験風景 (左：ガイドウェイ、右：停留所、両者とも路面中央に黒い磁気マーカ埋め込みあり)

(4) 白線誘導読み取り式システム

白線誘導読み取り式システムは、路面上に示した断続的な白線を車両側が光学的に読み取り、この白線に誘導されて車両が走行する。LRT と同程度の輸送力を持ち、ゴム車輪のため急勾配や急曲線にも強い。比較的新しく開発されたシステムであり、国内導入事例はない。

積雪や道路上の汚れ等で白線が読み取りにくくなる可能性等が懸念されているが、GNSS や LiDAR システム、走行試験の機械学習等で走行位置を検出するシステムと組み合わせることで、必ずしも白線に誘導されずに走行することが可能となっている。また走行面も幅を持たせることも可能であり、同一面のみを走ることによる路面の偏摩耗も一定程度対策できる。これは磁気マーカ誘導式システムにも共通する技術である。



出典：サラワクメトロ

図 3.1-7 サラワクメトロの白線読み取り式システム車両

-20～30℃程度の低温となる中国ハルビン市で営業路線がある。

表 3.1-5 白線誘導読み取り式システムの基本情報

項目	内容	
適用法	道路運送車両法、（軌道法または鉄道事業法）	
導入事例	株洲 1・2 号線（中国）、ハルビン 1 号線（中国）、サラワクメトロ（マレーシア、導入予定）、ルーアン（フランス）*	
主な車両製造企業	国内企業	-
	海外企業	中国中車、Iveco バス*
主な線形条件 (軌道法の場合)	最急勾配	軌道法では原則 40%
	最小回転半径	軌道法では半径 11m 以上

*白線を読み取る技術を活用しているが、車両サイズは BRT と同程度であり中国やマレーシアのシステムとは異なる

出典：受託者

(5) 電動バス

電動バスは、電気バス、プラグインハイブリッドバス、燃料電池バスの3種類に大別される。電気バスは、充電した蓄電池の電力で走行する。プラグインハイブリッドバスは、ディーゼルエンジンと電気モータの二つを動力源として走行する。燃料電池バスは、水素を燃料とする燃料電池による電力によって走行する。

共通の特徴は「ゼロエミッション（走行時に CO₂、NO_x、PM 等を排出しない。ただし、プラグインハイブリッドを除く。）」、「走行時の低騒音・低振動、快適な乗り心地」、「災害時の活用」が挙げられる。また、ゴム車輪であるため、急勾配や急曲線の走行が可能である一方で、電気消費量が多く航続距離がディーゼルエンジン車両と比較すると短くなる傾向にある。LRT やトラムと比較すると1車両あたりの輸送力は少ない。なお、ゼロエミッションの連節車両は国内メーカーでは製造されていない。



出典：いすゞ自動車

図 3.1-8 いすゞ自動車の ERGA EV

運転席が前方にしかないため両方向の走行を想定する場合、運転席を両方向に設ける必要があり、着席数が減る懸念がある。

表 3.1-6 電動バスの基本情報

項目	内容	
適用法	道路運送車両法	
導入事例	国内：東京都京成バス、都営バス等 海外：アムステルダム（オランダ）、ワシントン（アメリカ）等	
主な車両製造企業	国内企業	いすゞ自動車、日野自動車
	海外企業	中国 BYD、ベンツ等 ※海外ではその他多数事業者あり
主な線形条件	最急勾配	—
	最小回転半径	道路運送車両法（道路運送車両の保安基準）では、最外側のわだちについて 12m 以下でなければならない 車両性能上は 7.9m

出典：受託者

3.2. 動力源別の交通システムの運行状況および開発動向

3.2.1. 外部から供給された電気を動力源とする交通システム

外部から供給された電気を動力源とする交通システムは図 3.2-1 に示した通り、大きく分けて接触式と非接触式に分類できる。接触式および非接触式の技術的な内容は 2.2 節にまとめた通りである。

なお、A1 の架線 は景観上問題があり富士スバルラインへの導入は不適である、A2 の第三軌条、A3 の第三軌条+架線、B の非接触式給電は地上に第三軌条や架線、給電用コイルやコイルに電力を送る電線を敷設するためのコストが膨大となる。また、B は現時点では開発段階である。

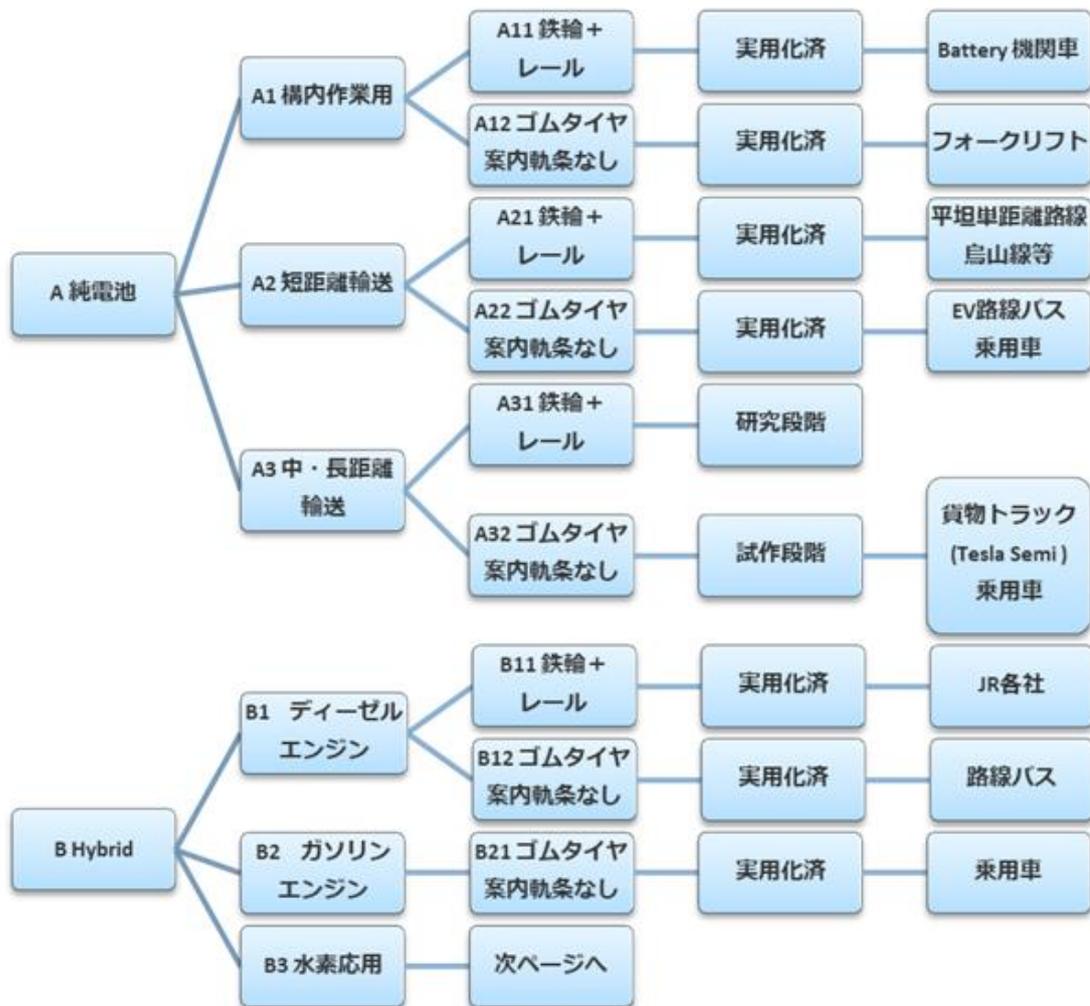


出典：受託者

図 3.2-1 外部から供給された電力を動力源とする輸送システム

3.2.2. 蓄電池を動力源とする交通システム

蓄電池を動力源とする交通システムは、図 3.2-2 に示すように、A 純電池方式と、B Hybrid 方式に大別される。Hybrid 方式としては蓄電池とディーゼルやガソリン等の内燃機関との組み合わせ、さらに水素応用として燃料電池や水素エンジンと組み合わせたシステムが存在する。内容は 2.2 節にまとめた通りである。

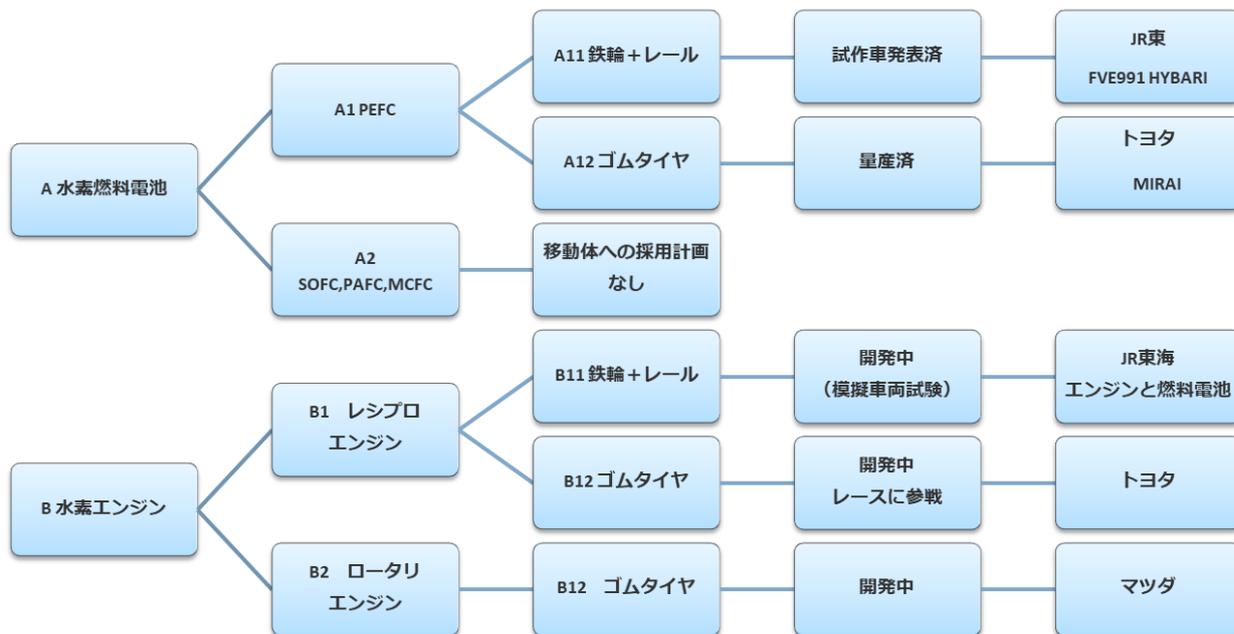


出典：受託者

図 3.2-2 蓄電池を動力源とする交通システム

3.2.3. 水素を動力源とする交通システム

水素を動力源とする交通システムは、図 3.2-3 にまとめた通り、燃料電池を用いるものと水素エンジンを用いるものに大別される。技術的な内容は 2.2 節にまとめた通りである。



出典：受託者

図 3.2-3 水素を動力源とする交通システム

3.2.4. 動力源に関する検討のまとめ

外部から電力を供給する輸送システムは、国内外に広く長い実績を持ち、沿線に有害物質を排出しない。しかし、沿線に送電線、変電所、第三軌条またはコイル、電極等の地上設備を要するため、富士山新交通事業では建設費が高額となる。また、富士山新交通事業において、架線は景観面、第三軌条は安全面、地表 APS は積雪対応にそれぞれ課題がある。

これに対して、蓄電池あるいは水素を動力源として用いる輸送システムは、沿線の地上設備が局限され、富士山新交通事業において建設費を大幅に節減できる。

蓄電池を用いるシステムは、リチウムイオン電池の急速な開発によって現在は自動車と鉄道とも十分な実績がある。富士山新交通事業においては、設計時に低温下での電池性能低下を十分考慮した上で、登りに必要な搭載容量（重量）を搭載した実用化が期待できる。

水素燃料電池を用いるシステムは、自動車と鉄道ともに近年実績が増えている。地球環境負荷が最小であり、実用面からは水素充填に要する時間が蓄電池充電よりも短いため、車両利用効率が向上する利点がある。富士山新交通事業においては、水素供給設備建設および水素調達に要する費用検討の他、蓄電池同様に低温下での使用対応が必要である。

水素エンジンは、燃料電池同様に環境負荷が小さく水素充填時間が短い利点があるが、現段階では富士山新交通事業において商業運転が可能となるほど技術が熟成していない。

3.3. 自動運転の導入可能性

3.3.1. 鉄道の自動運転

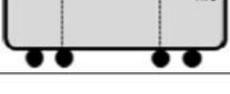
車両駆動用のエネルギーの考察に引き続き、近年の車両の運転士、操作員不足への対応として、自動運転導入の可能性について検討する。まず本項で、鉄道系の自動運転導入の可能性について述べる。

一般の自動車に比べ、走行路線が固定され、信号設備が整っている鉄道システムは自動運転が導入しやすい条件が整っており、1981年には、世界初のドライバーレス自動運転が神戸ポートライナーにおいて実現している。その後も、主として、日本においては、新交通システムを中心に軌道系交通システムの自動運転は拡大してきた。

以下に令和4年に国土交通省に設置された「鉄道における自動運転技術検討会」が取りまとめた資料（同検討会の取りまとめ概要、令和4年9月13日）にもとづき、鉄道の自動運転の概要を報告する。

鉄道における自動運転は表 3.3-1 に示す通り、GOA（Grade of Automation）1~4 に分類される。自動車では自動運転レベルはレベル1から5まで分類されるが、これは交差点、歩行者などが存在するなど、道路における自動運転の前提条件が異なることによる。また、GOA2.5は国際電気標準会議規格（IEC）、日本産業規格（JIS）等には規定されていないものの、添乗する乗務員の役割を明確化するために設けられている。

表 3.3-1 鉄道の運転形態と自動化レベル

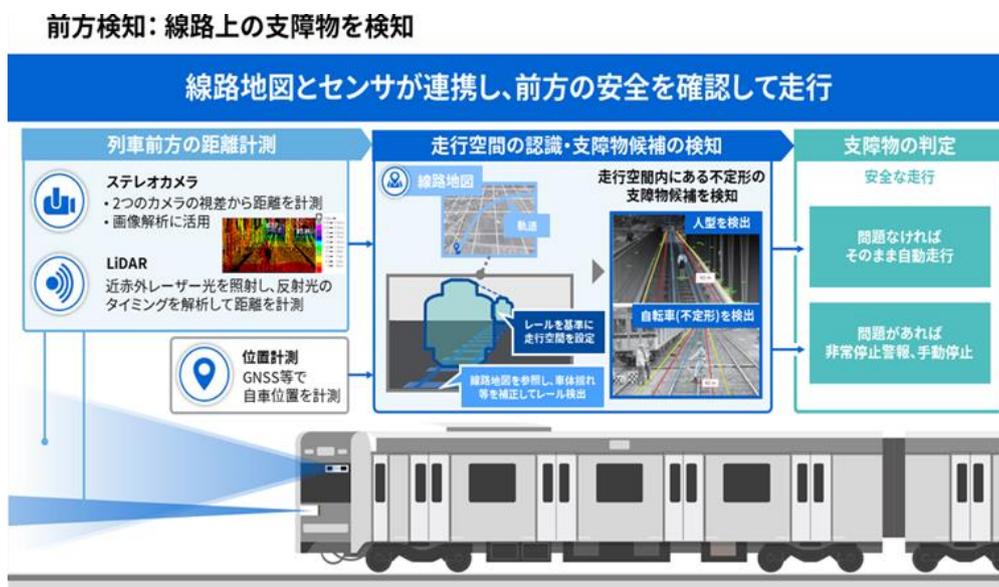
自動化レベル (AUGT規格による定義)	乗務形態 (イメージ)	国内の導入状況
G o A 0 目視運転	 運転士（および車掌）	路面電車
G o A 1 非自動運転		踏切道がある等の一般的な路線
G o A 2 半自動運転	 運転士（列車起動、緊急停止操作、避難誘導）	一部の地下鉄 等
G o A 2.5 (緊急停止操作等を行う係員付き自動運転)	 列車の前頭に乗務するG o A 2.5*係員（緊急停止操作、避難誘導）	無し
G o A 3 添乗員付き自動運転	 列車に乗務する係員（避難誘導）	一部のモノレール
G o A 4 自動運転	 係員の乗務無し	一部の新交通 等

出典：国交省 HP 鉄道における自動運転技術検討会 第8回配布資料

GOA2.5 から GOA3 実現のために具備すべき技術は JIS-E 3802:2012 (IEC 62217:2009) に以下の通り規定されている。

- 1) 軌道の監視
 - 障害物との接触防止
 - 人との接触防止
- 2) 旅客乗降の監視
 - 旅客用乗降口の制御
 - 車両間またはプラットホームと列車間の人身傷害の防止
 - 安全な出発条件の確保

このうち 1) 軌道の監視実現のための開発例を以下に示す。



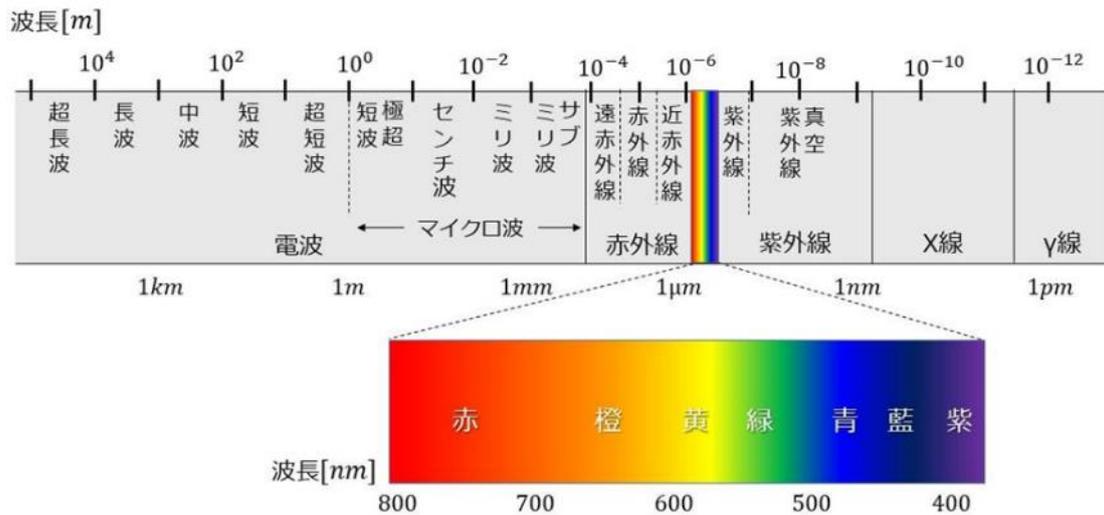
出典：東芝

図 3.3-1 軌道の監視技術

軌道監視に使われるセンサと特徴は以下のとおりである。

- ミリ波レーダー：波長 1~10mm のミリ波を使う。主に動きがある対象物の位置や相対速度検知に使用される。
- LiDAR：波長 750~1000nm の近赤外線を使う。対象物の位置と形状の把握のために使用される。
- カメラ：波長 380nm~750nm の可視光を使う。ステレオカメラとし視差により対象物までの距離を認識し、画像解析で支障物の検知に使用する。

3 つの技術を組み合わせることで GOA3 以上の自動化に必要な軌道監視と旅客乗降の監視の実現に必要な精度とロバスト性の両立を可能とするシステムの開発が進行中である。



出典：光学技術の基礎用語 HP

図 3.3-2 電磁波の波長

(2) の旅客乗降の監視に関する開発例としては車載モニタリングカメラ、ホームモニタリングカメラの画像を、5G を使って AI で解析して安全性を判断する実証実験がなされている。

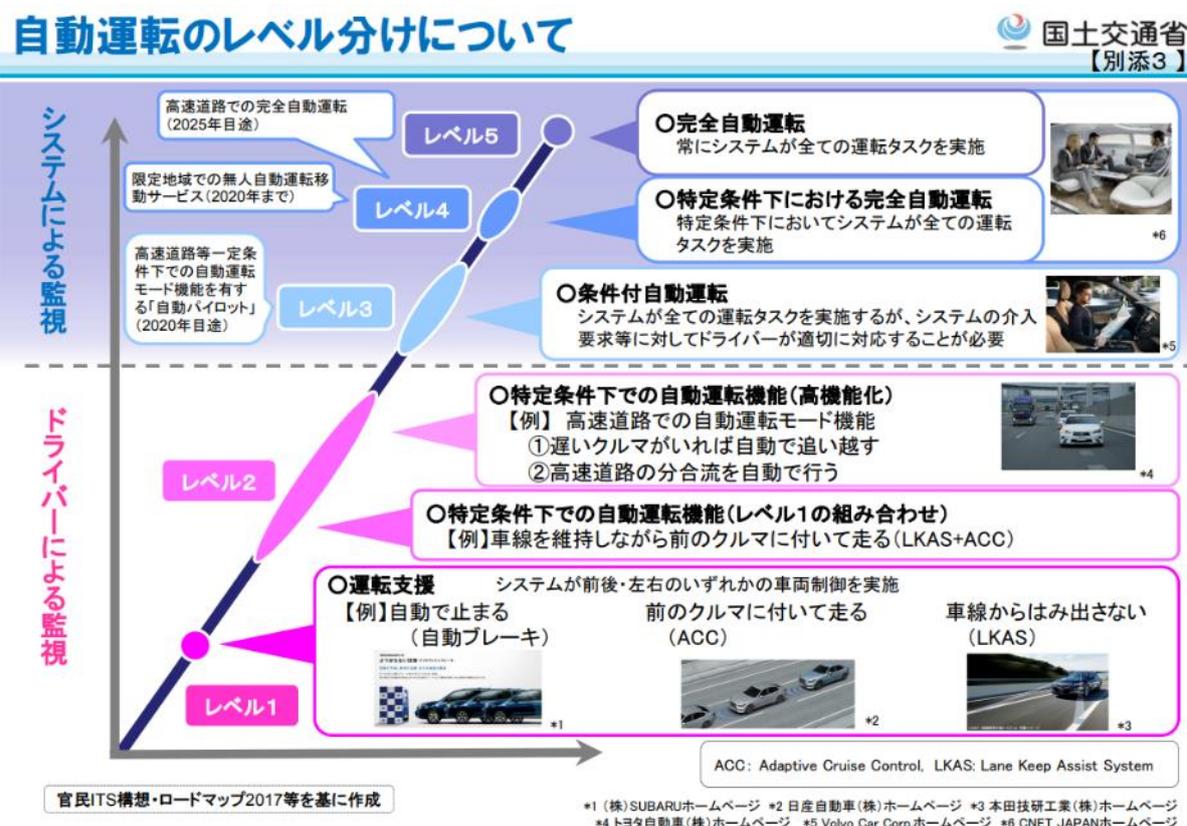
3.3.2. バス・自動車の自動運転

(1) 自動運転車両の概要

1) 自動運転車両と自動運転レベル

自動運転車両とは、自動運転システムを搭載して自動運転が可能な車両を指し、乗用車タイプ、バスタイプ、トラックタイプ、シャトルタイプ、カート・超小型モビリティタイプ等に分けられる。自動運転システムとは運転者の運転操作に係る認知、予測・判断、操作のすべてを代替するシステムである。

自動運転レベルは SAE (Society of Automotive Engineers : 米国自動車技術会) が定め世界標準として利用されている。自動運転システムは下図の通り、レベル 0~6 の 6 段階に分けられる。現在国内で実施されている自動運転車両の自動運転レベルはレベル 2 (ドライバーによる監視) が多数である。2023 年 3 月には、レベル 4 の自動運行装置として国内初事例として認可されている。



出典：国土交通省自動運転戦略本部 会議資料

図 3.3-3 自動運転レベル分け

2) 自動運転システムに係る技術

自動運転車両は、従前運転者が対応していた認知、予測・判断、操作の大きく3つの運転タスクを自動運転システムによって対応する。自動運転システムを構成する要素技術について、下図の通り整理した。

a. LiDAR（認知に関する要素技術）

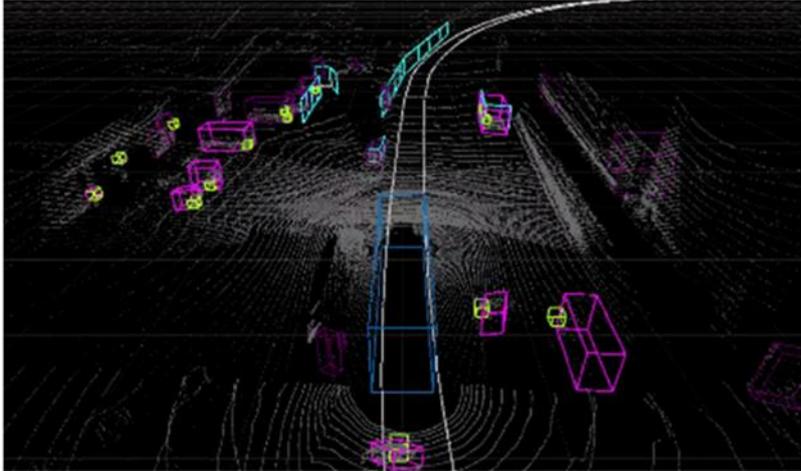
LiDAR

LiDAR（ライダー）は、「Light Detection and Ranging（光による検知と測距）」の頭文字をとった言葉です。レーザー光を照射し、物体に当たって跳ね返ってくるまでの時間を計測し、物体までの距離や方向を測定します。先行車・歩行者・建物などの距離や形状、位置関係を三次元で把握することが可能です。また、LiDARは車両の自己位置の特定にも活用することができます。これはマップマッチングと呼ばれ、事前に作成した走行ルート of 3次元地図の情報と、走行中にLiDARで把握した情報を重ね合わせることで自己位置を特定する技術です。

周囲の見え方

LiDAR





障害物等を認識する技術&車両の位置を特定する技術

出典：受託者

図 3.3-4 LiDAR に関する技術

b. ステレオカメラ・周囲監視カメラ・ミリ波レーダー（認知に関する要素技術）



出典：受託者

図 3.3-5 ステレオカメラ・周囲監視カメラ・ミリ波レーダーに関する技術

c. RTK-GNSS（認知に関する要素技術）



出典：受託者

図 3.3-6 RTK-GNSS の技術

3) 国内における自動運転車両の事例

国土交通省では、自動運転車両の社会実装に寄与すべく自動運転社会実装推進事業として「地域公共交通確保維持改善事業補助金（自動運転事業関係）」を令和4年度より実施している。令和6年度事業において、全国99地域を採択している。



出典：国土交通省

図 3.3-7 令和6年度地域公共交通維持確保改善事業補助金(自動運転事業関係費)概要

- | | | |
|-------------|--------------|--------------|
| 1 北海道帯広市 | 34 石川県小松市 | 67 大阪府四條畷市 |
| 2 北海道士幌町 | 35 福井県永平寺町 | 68 兵庫県養父市 |
| 3 北海道利尻富士町 | 36 福井県越前市 | 69 兵庫県三田市 |
| 4 北海道苫小牧市 | 37 山梨県富士吉田市 | 70 奈良県 |
| 5 北海道当別町 | 38 山梨県甲斐市 | 71 奈良県 |
| 6 北海道千歳市 | 39 長野県塩尻市 | 72 奈良県宇陀市 |
| 7 北海道網走市 | 40 岐阜県 | 73 和歌山県和歌山市 |
| 8 青森県 | 41 岐阜県岐阜市 | 74 鳥取県鳥取市 |
| 9 岩手県釜石市 | 42 岐阜県中津川市 | 75 島根県美郷町 |
| 10 宮城県仙台市 | 43 静岡県浜松市 | 76 岡山県備前市 |
| 11 秋田県小阿仁村 | 44 静岡県静岡市 | 77 広島県東広島市 |
| 12 秋田県大館市 | 45 静岡県沼津市 | 78 広島県福山市 |
| 13 山形県長井市 | 46 愛知県 | 79 山口県 |
| 14 福島県田村市 | 47 愛知県日進市 | 80 徳島県那賀町 |
| 15 福島県磐梯町 | 48 愛知県安城市 | 81 香川県土庄町 |
| 16 茨城県日立市 | 49 愛知県小牧市 | 82 香川県三豊市 |
| 17 茨城県常陸太田市 | 50 愛知県岡崎市 | 83 香川県高松市 |
| 18 茨城県境町 | 51 愛知県常滑市 | 84 愛媛県松山市 |
| 19 栃木県 | 52 愛知県豊橋市 | 85 愛媛県伊予市 |
| 20 群馬県前橋市 | 53 愛知県春日井市 | 86 高知県 |
| 21 群馬県渋川市 | 54 愛知県名古屋市中区 | 87 福岡県北九州市 |
| 22 埼玉県深谷市 | 55 三重県多気町 | 88 福岡県宗像市 |
| 23 埼玉県和光市 | 56 三重県桑名市 | 89 佐賀県 |
| 24 千葉県横芝光町 | 57 三重県伊勢市 | 90 長崎県 |
| 25 千葉県松戸市 | 58 三重県明和町 | 91 熊本県熊本市 |
| 26 東京都 | 59 滋賀県 | 92 熊本県宇城市 |
| 27 東京都 | 60 京都府 | 93 大分県佐伯市 |
| 28 東京都大田区 | 61 京都府 | 94 宮崎県西都市 |
| 29 神奈川県川崎市 | 62 京都府宮津市 | 95 鹿児島県南さつま市 |
| 30 神奈川県平塚市 | 63 大阪府大阪市 | 96 沖縄県 |
| 31 新潟県弥彦村 | 64 大阪府大阪市 | 97 沖縄県豊見城市 |
| 32 新潟県佐渡市 | 65 大阪府大阪市 | 98 沖縄県石垣市 |
| 33 富山県富山市 | 66 大阪府河内長野市 | 99 沖縄県南城市 |

出典：国土交通省

図 3.3-8 令和6年度事業にて採択された99地域

(2) 自動運転車両の導入可能性の検討

富士スバルラインへの自動運転車両の導入要件や国内外の車両開発状況の整理結果を踏まえて、富士スバルラインへの自動運転車両の導入可能性について検討した。

富士スバルラインへの自動運転車両の導入要件として、輸送力を確保できる車両を想定する場合、現在販売されている車両に自動運転装置を搭載することも一案として考えられる。そこで輸送力に優れたベース車両として、表 3.3-2 に国内外の連節バスの開発状況について整理をした。

連節バスの特性を踏まえた富士スバルラインへの連節バス導入時の留意点について、以下の点があげられる。

- 座席数は概ね 30～50 席程度で一般の路線バスと比較した 1.5 倍程度の席数
- 災害時にはその場で折り返す必要があり、運転席が 1 か所であるためその場で旋回する必要があるが富士スバルラインの幅員では旋回が困難
- 被牽引車両は基本的に 1 軸であり、内輪差が大きい。一部の外国車両以外は連動したハンドリングに非対応
- 環境に配慮した動力源を有する車両の採用が望ましいが、現時点で国内の連節バスはゼロエミッションの車両は存在しない

表 3.3-2 国内外の連節バスの開発状況

分類		海外連節バス					国内連節バス		
事業者名		メルセデス (ドイツ)		Van Hool (ベルギー)	Irizar (スペイン)	SOLARIS (ポーランド)	MAN Truck & Bus (ドイツ)	いすゞ自動車	日野自動車
車両		eCitaro G3/4	eCitaro FuelcellRangeE xtender 3/4doors	METTIS	Irizar ie tram	Urbino18 Electric/hydro gen	Lion's City18/19	ELGA-DUO	ブルーリボン ハイブリッド 連節バス
									
諸元	全長	18.125m	18.125m	23.82m	18.73m	18m	18.06-18.75m	17.99m	17.99m
	全幅	2.55m	2.55m	2.55m	2.55m	2.55m	2.55m	2.495m	2.495m
	全高	3.4m	3.45m	3.35m	3.4m	3.3m	3.05-3.11m	3.26m	3.26m
	車両 総重 量	29,000- 30,000kg	29,000kg	22,750kg	31,200kg	29,000kg	28,000kg	24,585- 24,615kg	24,515kg
動力源		EV	EV/水素電池	ハイブリッド (ディーゼル +EV)	EV	EV/水素	ディーゼル	ハイブリッド (ガソリン+ EV)	ハイブリッド (ディーゼル+ EV)
輸送量		座席:41-45名 最大:146名	34席/46席	最大:155名	座席:33-40名 最大:145名	座席:52-58名	座席45-53名	座席:35名 最大:119名	座席:36名 最大120名
国内実績		—		—	—	—	—	東京BRT、 三重交通	横浜市交通局、 京成バス等
運転席		1か所							

出典：受託者

(3) 除雪車の自動運転

富士山新交通事業を冬季に運行させるためには、富士スバルライン上の降雪を除雪することが前提となる。除雪に伴う人員削減策として、除雪車の自動運転化が考えられる。国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所は、2021年に「自動運転技術の活用による除雪車の運転支援及び道路構造・管理に関する共同研究」の成果報告書を公開している。同研究報告書によると、除雪車に磁気センサを取り付け、道路上に埋め込んだ磁気マーカを読み取る形式で除雪車の自動運転を行っている。自車位置推定結果として、磁気マーカを20mもしくは40m間隔で設置し、除雪車の運行速度15km/hの場合、高精度に自車位置を保つことができたとのことである。



図-2.4 除雪トラック全景



図-2.5 磁気マーカ埋設状況

出典：自動運転技術の活用による除雪車の運転支援及び道路構造・管理に関する共同研究

図 3.3-9 除雪トラック全景と車両に搭載された磁気センサおよび磁気マーカ

3.3.3. 鉄道とバス・自動車の自動運転の比較

鉄道と自動車の自動運転レベルの比較を表 3.3-3 にまとめる。専用軌道の有無や添乗員の有無等が主な相違であり、それらの特徴を反映したレベル分けとなっている。富士山における交通事業では、災害時や緊急時の対応のため係員は搭乗すべきである。よって、条件付き自動運転の導入が現実的である。

表 3.3-3 鉄道と自動車の自動運転の運転扱い対照表

形態	鉄道	自動車
運転自動化なし	GOA0：目視運転	レベル0：自動運転機能なし
	GOA1：非自動運転	-
運転支援	GOA2：半自動運転、列車軌道やドア扱いを行う	レベル1：アクセル・ブレーキまたはハンドルのどちらかの操作を部分的に行う
	GOA2.5：緊急停止などを行う係員付きの自動運転	レベル2：アクセル・ブレーキまたはハンドルの両方の操作を部分的に行う
条件付き自動運転	GOA3：先頭の運転席以外に乗務する係員が添乗、避難誘導を行う	レベル3：特定条件下で全運転操作を自動化、ただし要請に応じいつでも運転に戻る必要あり
自動運転	-	レベル4：特定条件下(高速道路など)で全運転操作を自動化
	GOA4：係員の乗務なし	レベル5：条件なしで全運転操作を自動化

出典：受託者

3.4. エネルギー源を含めた環境負荷面への影響度合い

3.4.1. 電気活用の場合の影響

富士山新交通事業において、車両動力源として既存の内燃機関を継続して使用する場合と、電気運転に切り替える場合の環境負荷面への影響度合いを検討した。

内燃機関は燃料がほぼ化石燃料に限定され、車両から地球温暖化の原因となる CO₂ および窒素酸化物・硫黄酸化物および PM2.5 等の有害物質を発生する。これに対して電気運転では車両から CO₂ および有害物質は排出しない。ただし、電気運転では発電時の CO₂ 発生も考慮する必要がある。燃料電池を用いる場合は富士山麓において利用する電力は限定され、車両走行にグリーン水素を使用する限りにおいて、CO₂ は発生しない。

富士山新交通事業の実施に際しては、使用電力および水素製造に伴う CO₂ 発生量を把握する必要がある。山梨県企業局が保有する発電所はすべて水力または太陽光の再生可能エネルギーであり、企業局が発電した電力を利用する限り、発電設備の建設・維持に関する分以外の CO₂ は発生しない。同様に、企業局が製造する水素を利用する限り、発電設備および水素製造設備の建設・維持に関する分以外の CO₂ は発生しない。これに対して、山梨県に電力を供給する東京電力の 2023 年度 CO₂ 発生係数は 0.408 kg-CO₂/kWh と発表されており、買電する場合は使用電力量に上記 CO₂ 発生係数を適用しなければならない。一部の鉄道事業者では、グリーン電力購入手続きによって自社の鉄道営業に使用する電力に関して等価的に CO₂ 発生を抑制している。富士山新交通事業においても、東京電力等から買電する際には、同様のグリーン電力購入も検討する必要がある。

表 3.4-1 内燃機関と電気運転の比較

	ガソリン・ディーゼル等内燃機関	電気運転
利用可能エネルギー	× 化石燃料に限定 (バイオ燃料も一部可能)	◎ 再生可能エネルギー・火力・原子力等多彩
出力	△ 燃料を車両に積む必要があり、外部電力供給よりも重量比で不利	◎ 外部電力供給の場合、燃料を車両に積まない分、重量比で有利 蓄電池車両・燃料電池車両の場合は内燃機関と同水準
効率	○ ディーゼル：20～25% (ハイブリッド化による改善の可能性がある)	◎ 30%程度 + 電力回生による改善
環境負荷	× 排気ガス主成分は CO ₂ さらに窒素酸化物 (NO _x)、硫黄酸化物 (SO _x)、PM2.5 等有害物質含む	○ 車両から有害廃棄物生じない 燃料電池車両の場合は水蒸気のみ ただし、火力発電所では CO ₂ 、NO _x 等環境負荷あり

出典：受託者

3.4.2. 燃料電池活用の場合の影響

富士山新交通事業において、車両動力源として燃料電池を用いる場合の環境負荷面への影響度合いを検討する。

(1) 燃料電池への水素供給

燃料電池に供給する水素は 2.2.4 に示したように、その由来によって環境負荷面への影響度合いが異なる。

(2) 蓄電池車両と燃料電池車両の比較

環境負荷面への影響度合いの視点を含めて、燃料電池車両と蓄電池車両とを定性的に比較した。

蓄電池の動作原理は化学反応であり、温度の影響を強く受ける。 -10°C 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蓄電池の劣化につながることも指摘されている。また、冬季における車内暖房には、蓄電池による電気ヒーターのみを用いることから、余裕のある蓄電池容量の選択が必須である。

一方、燃料電池も動作原理は化学反応であり、温度の影響を受ける。燃料電池の場合は発電の副反応として熱が発生するため、低温下で使用する燃料電池本体の温度は、常用温度まで速やかに上昇する。NEDO (国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構) 報告書によれば、鉄道車両等で大容量燃料電池を利用する場合は、営業運転前に数分以上の暖機運転が推奨されている。

表 3.4-2 燃料電池車両と蓄電池車両の比較 (出力と容量の数値は誘導系)

	燃料電池車両	蓄電池車両
航続距離	<p>水素タンク容量次第。一般的に充填時間が蓄電池よりも短い。EV との航続距離の比較のため燃料電池車 MIRAI の質量 1950kg を(1)式に代入すると航続距離 $L=587\text{ km}$ となり MIRAI のカタログ航続距離 850 km より短くなる。</p> <p>この例で比較すると質量当たりの航続距離は燃料電池車が蓄電池車両に比べ 40%程度長くなると推定できる。</p>	<p>体積・重量次第。一般的に大容量充電には数時間を要する。搭載航続距離は搭載電池量に比例して伸びる。搭載電池量が多くなると質量が増加する。</p> <p>日本で販売されている蓄電池車両の質量 $W(\text{kg})$ 当たりの航続距離 $L(\text{km})$ は下式で近似できる。</p> $L=0.488W - 365 \quad (1)$ <p>(Note 1)</p>
出力	<p>力行の出力は平均速度と平均勾配に、加速余力と慣性質量を考慮して求めた所要踏面出力に補機出力を足して機器効率で割り戻して計算する。(詳細計算 3.4-3 等)</p> <p>(Note 2)</p> <p>回生電力の吸収は蓄電池でしかできないので、回生時に必要な蓄電池を装備して一</p>	<p>左記力行・回生出力を蓄電池からすべて供給・吸収する(マイナスは充電)。</p> <p>下記出力(誘導系)を蓄電池で賄う必要あり</p>

	燃料電池車両	蓄電池車両
	<p>往復でエネルギー収支が釣り合うよう燃料電池出力を決め、用意した蓄電池から不足分を供給することで問題なく賄うことができるよう設定した。</p> <p>燃料電池と蓄電池の合計 登り： 622.1kW 下り： -364.4kW</p> <p>燃料電池 登り： 285.4kW 下り： 0kW</p> <p>蓄電池 登り： 336.7kW 下り： -364.4kW</p>	<p>蓄電池だけで燃料電池車両の燃料電池+蓄電池の出力を賄う必要がある。</p> <p>蓄電装置出力 登り： 同左 下り： 同左</p>
重量容量	<p>燃料電池スタックや水素タンク、蓄電池、電力変換器と構成が複雑で重量が大きい。蓄電池容量は下りのエネルギーを吸収できる容量とする。</p> <p>燃料電池と蓄電池容量の合計 登り： 544.3kWh 下り： -294.6kWh</p> <p>燃料電池容量 登り： 250kWh 下り： 0kWh</p> <p>蓄電池容量 294.6kWh→295kWh</p>	<p>蓄電池と電力変換器だけで燃料電池より簡単な構造。燃料電池はなく蓄電池だけで燃料電池車両の燃料電池と蓄電池容量の合計と同様の容量を得る必要がある。</p> <p>蓄電池所要容量 登り： 同左 下り： 同左</p> <p>蓄電池容量 544.3kWh→545kWh</p>
回生対応	<p>燃料電池には充電出来ないのでブレーキ回生電力は、蓄電池に充電する。一往復で蓄電池は初期充電値に戻るよう燃料電池と蓄電池の分担比率とすることで運用途中での補充電が不要となる。</p>	<p>蓄電池容量は登りを賄うため燃料電池車に比べ大きな容量が必要結果として回生電力吸収には十分以上の容量の蓄電池が装備される。</p>
価格	<p>プラチナ等の貴金属を用いるため高価。地上には蓄電池への充電設備に加え水素供給設備（図 2.2-26）が必要。</p>	<p>内燃機関車両より高価。運用中に各車両に充電が必要なため多数の充電設備が必要。</p>
低温対応	<p>低温環境での始動に際して予熱が必要。低温環境での使用実績あり。始動直後に燃料電池の発電効率を下げ、発熱を大きくすることで予熱を活用することが可能。その熱を蓄電装置にも有効利用すれば低温下での蓄電池の性能低下対策としての初期容量大型化の割合も抑制できる可能性あり。</p>	<p>低温下で電池容量及び出力が低下するため、最低温条件で性能を確保するための予熱のための設備の具備や蓄電池の大型化等の対策が必要。</p>

	燃料電池車両	蓄電池車両
環境適合性	車両から廃棄物は生じない。水素製造方法によっては CO ₂ 発生	車両から廃棄物は生じない。火力発電では発電所で CO ₂ 発生

出典：受託者

Note 1

代表的な蓄電池車両（乗用車）近似式 航続距離 (L) = 質量(W) × 0.488 - 365

EV	質量 kg	航続距離 km	容量 (参考) kWh
日産リーフ	1670	450	60
トヨタ bZ4X	1900	559	71.4
BYD SEAL	1975	600	82.56

Note 2

- ・踏面出力

車輪が地上構造物（レールや道路面）と接する面（踏面）の出力。

車両から地上に伝える出力を表わし、車両の加・減速率の計算に用いる数値である。

- ・加速余力

平均速度で走行抵抗と推進力がバランスする性能では、平均速度時加速度ゼロのため平均速度に達せない。そのため推進力が走行抵抗を上回るように性能を設定する必要がある。この上回り分を加速余力という。

- ・慣性質量

車両にはモータや車輪、ギアなどの回転体がある。回転体を回転させるための力を慣性力といい、推進力に対する%で近似する。本ケースではモータ車 10%と付随車 5%の平均 7.5%を用いる。(JIS E-6002 1989 3.2(5))

3.4.3. 車両運行に係る電力量および燃料電池量の比較

(1) 蓄電池と燃料電池の容量と出力の設定の考え方

a. 誘導系（数値は断らない限り編成連結あたり）

登りでは編成連結最大電力として力行踏面出力を 55%の勾配を平均速度である 31.7km/h、運行時間は登り 52.5 分、質量は 82.26t、定員は旅客 120 人、運行係員 1 名の計 121 名、勾配抵抗は登り 44.3kN、平均時速における走行抵抗は登り 3.7kN、加速余力と慣性質量相当の若干の余裕を見込んで性能を設定した。

力行必要踏面出力は 473.8kW、補機出力を最大の 55kW、機器総合効率 0.85 とすれば必要な出力は 622.1kW となる（55%を超える登り勾配では運転速度は平均速度から低下することになる）。運行時間から求めた蓄電池と燃料電池から供給する電力量は丸めると 544.3kWh となった。燃料電池を搭載しない純蓄電池の場合、この値を丸めた 545kWh が蓄電池の最低容量となる。この値から低温時や経年劣化等考慮して EV 搭載蓄電池量を決める必要がある。

下りでは平均時速は 34.3km/h、走行時分を EV バスと同じ 48.5 分、勾配抵抗は下り 44.3kN、平均時速における走行抵抗は下り 3.9kN、回生踏面出力は-493.4kW、補機出力を最大の 55kW、機器総合効率 0.85 とすれば蓄電池と燃料電池合計入出力は-364.4kW 運行時間から求めた電力量は-294.6kWh となる。符号マイナスは蓄電池から見て充電方向であることを示す。

表 3.4-3 消費電力量比較検討結果（誘導系）

No.	LRV	燃料電池蓄電池 誘導系		純蓄電池 誘導系			
		登り	下り	登り	下り		
1	平均速度 (km/h)	32.0	22.5	31.7	34.3	←	←
2	運行時間 (分)	52.0	74.0	52.5	48.5	←	←
3	質量 (1編成分 (3両) t)	54.00	54.00	41.13	41.13	←	←
4	編成連結質量 (2編成分または6両分 t)	108.00	108.00	82.26	82.26	←	←
5	定員 (人) 1連結編成または6両分	121	121	121	121	←	←
6	勾配抵抗(連結編成あたりkN) 平均勾配5.5%	58.2	58.2	44.3	44.3	←	←
7	摩擦抵抗：鉄輪レールに対する倍率	1.00		3.0		←	
8	走行抵抗 JISE6002の式 (編成連結あたりkN)	3.0	2.6	3.7	3.9	←	←
9	出発抵抗静止状態 kN	4.23	4.23	3.22	3.22	←	←
10	所要踏面出力(編成連結あたりkW) (加速余力0.1km/h/s) (慣性質量7.5%)	611.1	-407.5	473.8	-493.4	←	←
11	補機出力 kW	55.0		55.0		←	
12	蓄電池と燃料電池合計入出力 (機器効率0.85、補機 55 kW/編成連結と想定kW) (蓄電池車は蓄電池出力)	783.6	-291.4	622.1	-364.4	←	←
13	同容量(kWh)	679.1	-359.4	544.3	-294.6	←	←

出典：受託者

これら必要性能を蓄電池と燃料電池にどのように分担させるかを以下のように検討した。
EVの普及に伴い量産化が進む蓄電池に比べ、燃料電池関連技術はまだ発展途上だと考えられる。従って、すでに実用化されている燃料電池を使用する前提とする。

車両に積載する燃料電池として1編成あたりで出力110kW×2の燃料電池を車両に搭載した実績がある(参考:MIRAIのカタログ数値は114kW)ため、まずはこの数値を設定する。燃料電池出力は2編成を連結した1編成連結では2×2×110=440kWを燃料電池の最大能力とする。以下この制約のもと蓄電池と燃料電池の性能が設定できるか検討した。

燃料電池は回生エネルギーを蓄える能力はないので、下りのエネルギー蓄積はもっぱら蓄電池が担うことになる。下りの所要電力量は表3.4-3のNo.13,14にあるように、-294.6kWhを丸めて295kWhとなる。これが具備すべき蓄電池容量となる。

必要燃料電池の容量は登りの蓄電池と燃料電池の合計入出力容545kWhから蓄電池容量295kWhを引いた250kWhとなる。52.5分での平均出力は285.4kWとなる。これは最大電力440kW以内のため、想定構成で成立することが確認できた。

蓄電池が登りで消費するエネルギー545kWhが回生で充電される容量295kWhと、燃料電池が発電する250kWhとの和に等しいため、1往復後の蓄電池の出入りエネルギーが差引ゼロなので、蓄電池の補充電が運行時間中は不要になる利点がある。

純蓄電池の場合には、燃料電池からの供給がないため必要容量545kWhがそのまま蓄電池負担分となる。1往復後の蓄電池消費電力量は249.7kWhとなり、運行時間帯の中でこれを充電するための急速充電設備が必要となる。

表 3.4-4 燃料電池・蓄電池負担割合検討結果(誘導系)

	LRV	燃料電池蓄電池 誘導系		純蓄電池 誘導系	
		登り	下り	登り	下り
14 具備すべき蓄電池容量(kWh)	360	295		545	
17 燃料電池所要容量(kWh)	320	0.0	250	0.0	0.0
16 燃料電池出力(kW) <440kW	368.9	0.0	285.4	0.0	0.0
15 上記容量の蓄電池が負担する出力(kW)	414.7	-291.4	336.7	-364.4	622.1
18 蓄電池+燃料電池1往復後正味消費電力量(編成連結あたりkWh)	319.7	249.7		249.7	
19 1往復後に蓄電池に補充電必要な容量(編成連結あたりkWh)	0.0	0.0		249.7	

出典：受託者

b. EVバス（誘導系と比較しやすいように数値は断らない限り6両換算とする）

登りでは6両分最大電力として力行所要出力を55%の勾配を平均速度である31.7km/h、運行時間は登り52.5分、質量は81.12t、定員は（乗客20人＋運行係員1名）×6両＝126人、勾配抵抗は登り43.7kN、平均時速における走行抵抗は登り3.6kN、加速余力と慣性質量相当の若干の余裕を見込んで性能を設定した。所要踏面出力は467.3kW、補機出力を最大の55kW、機器総合効率0.85とすれば登りきるために必要な出力は614.4kWとなるが、これが蓄電池と燃料電池で賄うべき燃料電池最大出力となる。55%を超える登り勾配では運転速度は平均速度から低下することになる。電力量は537.6kWhとなる。登りきるためにはこの容量の蓄電池＋燃料電池が必要になる。燃料電池がない純蓄電池の場合、この値が蓄電池の最低容量となる。この値から、低温時や経年劣化等を考慮して搭載蓄電池量を決める必要がある。

下りでは平均時速は34.3km/h、走行時分48.5分、勾配抵抗は下り43.7kN、平均時速における走行抵抗は下り3.8kN、所要踏面出力は-486.7kW、補機出力を最大の55kW、機器総合効率0.85とすれば蓄電池出力は-358.7kW、運行時間から求めた蓄える電力量は-289.9kWhとなる。符号マイナスは蓄電池から見て充電方向であることを示す。

表 3.4-5 消費電力量比較検討結果（EVバス）

No.		燃料電池蓄電池 EVバス（6両分）		純蓄電池 EVバス（6両分）	
		登り	下り	登り	下り
1	平均速度（km/h）	31.7	34.3	←	←
2	運行時間（分）	52.5	48.5	←	←
3	質量（1編成分（3両）t）	40.56	40.56	←	←
4	編成連結質量（6両分t）	81.12	81.12	←	←
5	定員（人）6両分	126	126	←	←
6	勾配抵抗（連結編成あたりkN）平均勾配5.5%	43.7	43.7	←	←
7	摩擦抵抗：鉄輪レールに対する倍率	3.0		←	←
8	走行抵抗 JISE6002の式（編成連結あたりkN）	3.6	3.8	←	←
9	出発抵抗静止状態kN	3.18	3.18	←	←
10	所要踏面出力（編成連結あたりkW） （加速余力0.1km/h/s） （慣性質量7.5%）	467.3	-486.7	←	←
11	補機出力 kW	55.0		←	←
12	蓄電池と燃料電池合計入出力（機器効率0.85、補機 55kW/編成連結と想定kW） （蓄電池車は蓄電池出力）	614.4	-358.7	←	←
13	同容量(kWh)	537.6	-289.9	←	←

出典：受託者

これら必要性能を蓄電池と燃料電池にどのように分担させるかを誘導系の考え方と合わせ、1両あたり110kW、6両あたり660kWを燃料電池の最大能力とする。

燃料電池に回生エネルギーを蓄える能力はないのは誘導系と同条件である。下りの所要電力量は-289.9kWh、丸めて290kWhとなり、この数値が、燃料電池車が最低限具備すべき蓄電池の容量となる。

搭載する蓄電池容量を290kWhとすれば、登り時の燃料電池負担容量は248kWh、出力は283.1kWとなる。これは6両あたりの最大電力量660kW以内のため、上記設定した燃料電池で賄うことができる。

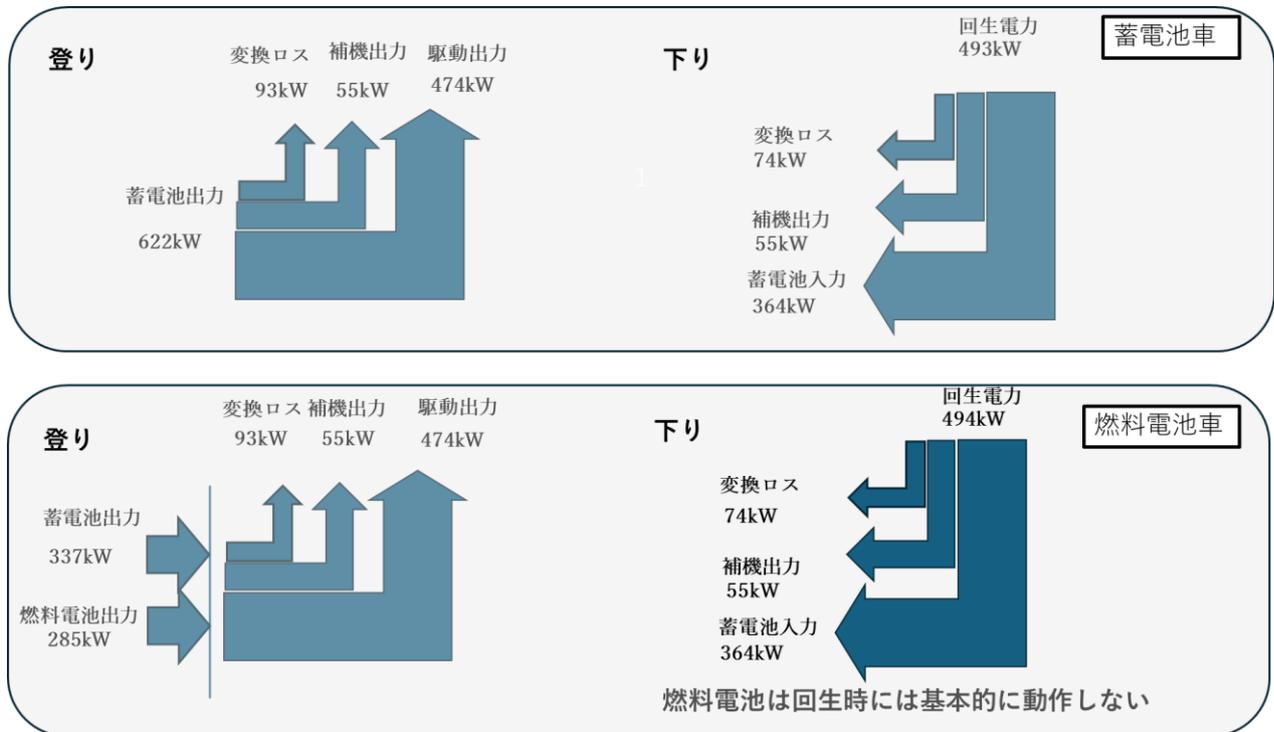
純蓄電池の場合には燃料電池からの供給がないため、登り必要容量538kWhがそのまま蓄電池容量となる。1往復後の蓄電池消費電力量は247.7kWhとなり、運行時間帯の中でこれを充電するための急速充電設備が必要となる。

表 3.4-6 燃料電池・蓄電池負担割合検討結果 (EVバス)

		燃料電池蓄電池 EVバス (6両分)		純蓄電池 EVバス (6両分)	
		登り	下り	登り	下り
14	具備すべき蓄電池容量(kWh)	290		538	
15	燃料電池所要容量(kWh)	248	0.0	0.0	0.0
16	燃料電池出力(kW) < 660kW	283.1	0.0	0.0	0.0
17	蓄電池負担分出力(kW)	331.3	-358.7	614.4	-358.7
18	蓄電池+燃料電池正味消費電力量(編成連結あたり kWh)	247.7		247.7	
19	1往復後に蓄電池に補充電必要な容量(編成連結あたり kWh)	0.0		247.7	

出典：受託者

誘導系のパワーフローを図にすると以下となる。（小数点以下四捨五入）



出典：受託者

図 3.4-1 誘導系のパワーフロー

(2) 燃料電池車の場合の所要水素量の検討

標準気体 1m³の水素が発生する電荷量は 2,393Ah、燃料電池起電力 0.72V/セルとすれば、流した水素の 1/2 が発電に寄与するとして水素 1kg（標準気体で 11.2m³）が発生する電力量は $0.72 \times 2392 \times 11.2 / 1000 \times (1/2) = 9.7\text{kWh}$ となる。

a. 誘導系

1編成連結が 1往復で消費する水素は $250.0\text{kWh} / 9.7\text{kWh/kg} = 25.9\text{kg}$ 、片道 27.7km のため、燃料消費率は $25.9\text{kg} / (27.7\text{km} \times 2) = 0.468 \text{ kg/km}$ となる。繁忙期 1日 1時間 10往復、運行時間 15 時間で 150 往復分の能力をもたせるなら 3.9t/日の水素製造能力が必要となる。

b. EVバス

6両分が 1往復で消費する水素は $247.7\text{kWh} / 9.7\text{kWh/kg} = 25.7\text{kg}$ となり、繁忙期 1時間 10往復、運行時間 15 時間の場合 150 往復分となり、3.9t/日の水素製造能力が必要となる（6両換算の数値）。

3.4.4. 燃料電池供給施設数の検討

本検討では、燃料電池製造は山梨県内にある米倉山太陽光発電所で製造される水素を輸送し、富士山麓では水素を貯蔵し、充填する設備を設置することと仮定する。水素の製造から車両への充填までの一連の流れは図 3.4-2 に示す通りである。この図中にある、液水対応設備と水素製造装置は米倉山のものを活用し、その他の圧縮機や蓄圧器、プレクーラー、ディスペンサーは富士山麓に設置する。経済産業省の資料によると、水素ステーション整備費用は、定置式オフサイト 300Nm³/h の製造能力で規制・技術開発取組後は 4.1 億円と試算している。



出典：経済産業省：FCV・水素ステーション事業の現状について（2021年）

図 3.4-2 水素ステーションの主要設備

次に、燃料電池車両を輸送するのに必要な水素供給量から、この水素ステーションが必要な数を検討する。上記の計算から一日 150 往復するのに必要な水素量は 3.9 トン、営業時間 15 時間のうち製造すべき水素量は $3.9\text{ton}/15\text{h}=260\text{kg/h}$ となる。水素供給量 300Nm³/h を kg 換算すると、1Nm³=0.08929kg のため、26.787kg/h となる。そのため、 $260\text{kg/h} / 26.787\text{kg/h} = 9.7$ 、すなわち 10 基となる。メンテナンスと故障時考慮による予備 2 セット含め水素供給量 300Nm³/h の施設が 12 基必要となる。

3.5. 経済面を含む地域への影響度合い

3.5.1. 過年度の地域経済インパクト分析のレビュー

令和5年度の富士山登山鉄道官民連携方策検討調査において、富士山五合目までの交通システム導入および周辺開発の経済波及効果と雇用効果を分析している。経済波及効果では、直接効果に加え、間接一次波及効果、間接二次波及効果を算出している。

この分析によると、鉄道事業および山麓駅と五合目の駅周辺開発事業の合計で経済波及効果は40年間の累計で1兆5,621億円と推計された。雇用効果は年あたり3,007人、延べ人数で12万人と推計された。例えば、2025年に開催される大阪万博の経済波及効果は2024年2月の算定で総額2.9兆円と試算されており⁴、そのうち大阪府内全域の波及効果は約56%の1.6兆円と試算されている⁵。

表 3.5-1 経済波及効果および雇用効果

指標	単位	鉄道事業	周辺事業 (山麓駅)	周辺事業 (五合目駅)	合計
総消費額	百万円	1,436,257	122,348	55,719	1,614,324
1. 直接効果	百万円	949,458	100,392	45,922	1,095,772
2. 間接効果	百万円	402,624	43,668	20,062	466,355
間接1次波及効果	百万円	262,244	26,371	12,070	300,685
間接2次波及効果	百万円	140,380	17,297	7,992	165,670
経済波及効果(「1.」+「2.」)	百万円	1,352,082	144,061	65,984	1,562,127
3. 粗付加価値誘発額	百万円	718,471	79,306	36,507	834,284
直接効果 (粗付加価値分)	百万円	466,914	52,434	24,171	543,519
1次粗付加価値誘発額	百万円	154,454	14,907	6,808	176,169
2次粗付加価値誘発額	百万円	97,104	11,965	5,528	114,597
4. 雇用者所得誘発額	百万円	265,878	32,761	15,137	313,775
直接効果 (雇用者所得誘発分)	百万円	182,456	23,661	10,966	217,082
1次雇用者所得誘発額	百万円	56,391	5,769	2,632	64,791
2次雇用者所得誘発額	百万円	27,032	3,331	1,539	31,901
5. 雇用効果 (就業者全体)	人	93,772 (年2,334)	17,916 (年448)	8,585 (年215)	120,273 (年3,007)
うち誘発雇用者数	人	81,903 (年2,048)	13,580 (年340)	6,501 (年163)	101,984 (年2,550)
6. 誘発税収額	百万円	162,627	14,880	6,846	184,353
国税収入増加額	百万円	126,397	11,231	5,167	142,795
県税収入増加額	百万円	24,990	2,414	1,110	28,514
市町村税収増加額	百万円	11,240	1,235	570	13,045

出典：令和5年度富士山登山鉄道官民連携方策検討調査

⁴<https://www.meti.go.jp/policy/exhibition/keizaihakyukouka.pdf>

⁵<https://www.asahi.com/articles/ASS4D3HZ8S4DOXIE04TM.html?msockid=10e6d29d023a63ac2032c7a00340622e>

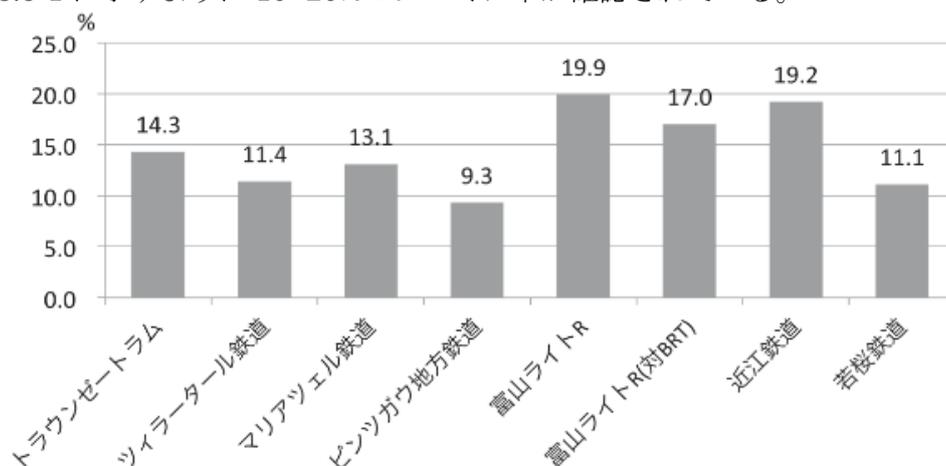
3.5.2. 軌道系・誘導系およびバス系の地域経済へのインパクト比較

(1) 軌道系の波及効果

一般的に、大・中量輸送である LRT や BRT 等の交通システムは輸送量が限定的な一般的な路線バスより経済波及インパクトが大きいといわれている。なお、BRT も軌道の有無の違いはあるものの、LRT と同様に専用のレーンを設けており、高い定時制と速達性を提供している。以下に関連する事例を示す。

「地方鉄道のレールボーナス：オーストリアにおける実証」⁶という論文で、オーストリアの二つの地方鉄道の沿線住民を対象に鉄道がバスに対して持つ割増価値（プレミアム率）が測定された。鉄道の利用頻度に関係なく、存在すること自体に価値があると認識されるレールボーナスの定量化を電話やアンケートで調査が行われた。結果として、レールボーナスのプレミアム率は平均で 10%前後存在することが判明し、非利用者も鉄道に価値を見出すことが確認された。

上記では地方鉄道の存在価値を具体的に測定されたのに対して、「LRT 再考:オーストリアの事例分析を踏まえて」⁷という類似の論文では、LRT の導入が地域社会に与える広範な影響を考察しており、日本の地方鉄道でもプレミアム率が存在していることを述べられており、図 3.5-1 に示すように 10~20%のプレミア率が確認されている。



出典：LRT 再考:オーストリアの事例分析を踏まえて

図 3.5-1 鉄道路線別の平均プレミア率

都市交通システムの他では、幹線鉄道である新幹線の新規整備が地域の経済に良い波及効果をもたらしている。例えば、「全国新幹線整備が国土構造と国民経済にもたらす影響の計量分析」⁸という論文によると、新幹線整備がどれほどマクロ経済に改善効果があるかが確認された。さらに地域別の生産額および人口の変化が分析され、地方の経済活性化と人口分散効果が評価された。結果として、特に沿線地域の経済効果が顕著であり、広範な地域にも経済効果をもたらすと確認された。まず、2005年から2025年までの20年間で、リニア整備

⁶ http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00039/201811_no58/58-190.pdf

⁷ <https://doshisha.repo.nii.ac.jp/records/28539>

⁸ https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejipm/75/5/75_I_375/_pdf/-char/ja

では累積約 57 兆円、全国整備では累積約 82 兆円、リニア+全国整備では累積約 124 兆円の GDP 増進効果が見込まれた。また、関東地方の人口が最大 4.2%、GRP が最大 5.3%減少する一方、地方において、特に四国地方では人口が 15%の増加が見込まれ、経済力が増加する『分散化』効果により、約 30%の GRP 増加が見込まれることが確認された。これは新幹線整備によって地方へのアクセス性が向上し、地方への人口移動や経済活動の活性化が促進されるためと考えられる。

上記の 2 つの事例より、鉄道を整備することで地域に良い影響を与えていることが確認された。

(2) LRT および BRT 整備による地価上昇

LRT や BRT を整備した場合の沿線地価の定量的な変化を、宇都宮 LRT、富山 LRT、新潟 BRT の事例を以下に示す。

宇都宮 LRT は令和 5 年 8 月に開業し、延長が約 14.6km（宇都宮市域 12.1km、芳賀町域 2.5km）、19 駅ある。宇都宮市東部の工業団地周辺で深刻な交通渋滞が発生していたことが問題視され、1987 年に宇都宮市で新交通システムのアイデアが初めて提案された。

表 3.5-2 にまとめたように、宇都宮市のニュータウンであるゆいの社中央駅の周辺の地価を例に挙げると、開業の前年の令和 4 年から毎年約 5-7%上昇していることが分かる。明らかに、LRT の整備効果があったと言える。



出典：宇都宮市⁹

図 3.5-2 宇都宮 LRT の整備区間

⁹ <https://www.city.utsunomiya.lg.jp/kurashi/kotsu/LRT/index.html>

表 3.5-2 宇都宮 LRT ゆいの杜中央駅周辺の地価

過去の地価、対前年変動一覧			
年	標準地番号	価格(円/m ²)	対前年変動率(%)
令和6年	宇都宮-39	66,300	7.5
令和5年	宇都宮-39	61,700	6.2
令和4年	宇都宮-39	58,100	5.8
令和3年	宇都宮-39	54,900	1.7
令和2年	宇都宮-39	54,000	-

出典：地価情報、不動産情報ライブラリ¹⁰

富山 LRT は、平成 18 年に開業し、延長が約 7.6km、13 駅あり、富山駅北から岩瀬浜まで約 25 分である。JR 富山港線は利用者の減少が続いており、廃止の危機にあったが、富山市は、JR 富山港線を LRT として存続させることを決定し、開業二年前に第三セクターの富山ライトレール株式会社を設立した。開業後は公共交通の活性化を目指し、富山市は「公共交通を軸とした拠点集中型のコンパクトなまちづくり」を目指し、LRT ネットワークの形成を積極的に推進している。表 3.5-3 に示す通り、元々地価が大幅に下落傾向にあった。これは、郊外の発展と自動車依存を原因として都市の広がりが進んだため、中心部の空洞化が進んだ。しかし、富山 LRT 開業後は、正の上昇率に上がることはないものの、最大-9%だった下落率が約-1%にまで改善している。



出典：北陸の私鉄メインページ¹¹

図 3.5-3 富山 LRT 整備区間

¹⁰ <https://www.reinfolib.mlit.go.jp/landPrices/>

¹¹ <https://www.hokuriku-rail.com/Light/Rosen/Rosen.html>

表 3.5-3 富山 LRT 大広田駅周辺の地価

過去の地価、対前年変動一覧			
年	標準地番号	価格(円/㎡)	対前年変動率(%)
平成22年	富山-59	43,800	-3.1
平成21年	富山-59	45,200	-1.7
平成20年	富山-59	46,000	-1.1
平成19年	富山-59	46,500	-1.1
平成18年	富山-59	47,000	-1.1
平成17年	富山-59	47,500	-2.1
平成16年	富山-59	48,500	-9.0
平成15年	富山-59	53,300	-3.6
平成14年	富山-59	55,300	-2.6

出典：地価情報、不動産情報ライブラリ

新潟 BRT¹²の延長は約 9.8km、16 の停留所あり、平成 27 年に開業した。新潟市では、バス利用者の減少が続いており、公共交通の維持が課題となっていた。特に、利用者減少が減便やサービス低下を招き、更なる利用者の減少を招くという「負の連鎖」を断ち切る必要があった。平成 14 年から平成 17 年にかけてパーソントリップ調査が行われ、平成 19 年から平成 25 年でオムニバスタウン事業を実施、この間に、新たな交通システム導入の検討が進められた。具体的な計画と実施として、平成 24 年 2 月に「新たな交通システム導入基本方針」が公表され、平成 25 年 2 月に「新潟市 BRT 第 1 期導入計画」が発表された。これに基づき、連節バスの導入やバス路線の再編が進められた。BRT はバス優先レーンを持ち、定時性や速達性が高い交通手段として機能している。

表 3.5-4 より、新潟市の BRT においては開業の平成 27 年にすぐに地価の上昇の影響は反映されていないが、平成 29 年度以降約 3%上昇していることが分かる。図 3.5-5 に示す通り、これまでのバスの運行は駅から目的地まで直接輸送するのに対して、BRT 導入後は駅から目的地の間に結節点を設け、駅から結節点の間に BRT を運行させ、結節点から目的地に余ったバスで輸送している。これにより、交通渋滞の影響を受けにくく、沿線地域へのアクセスが改善され住みやすさが向上したため徐々に地価上昇に寄与したものと考えられる。¹³

¹²

https://www.city.niigata.lg.jp/kurashi/doro/kotsu/newssystem/index.files/newbussystem_brt.pdf

¹³ https://www.murc.jp/wp-content/uploads/2019/09/report_190930.pdf



出典：新潟市

図 3.5-4 新潟 BRT 整備区間

表 3.5-4 新潟 BRT 万代橋周辺の地価

過去の地価、対前年変動一覧			
年	標準地番号	価格(円/m ²)	対前年変動率(%)
令和3年	中央5-9	491,000	2.9
令和2年	中央5-9	477,000	1.1
令和元年	中央5-9	472,000	2.6
平成30年	中央5-9	460,000	3.8
平成29年	中央5-9	443,000	3.0
平成28年	中央5-9	430,000	0.0
平成27年	中央5-9	430,000	0.0
平成26年	中央5-9	430,000	0.0
平成25年	中央5-9	430,000	0.0

出典：地価情報、不動産情報ライブラリ



出典：新潟市

図 3.5-5 新潟県の従来のバスの運行システム(左)と BRT 導入後の運行システム

以上より、LRTはBRTよりも波及効果の影響は大きいといえるが、共通して地価が上昇している。一度に大量の乗客を輸送することができる大・中量輸送交通システムを整備することによって効果が表れると考えられる。しかし、地価の上昇率に着目すると、BRTよりも

LRTの方が飛躍的に地域への影響が大きいといえる。一方で、一般的な路線バスを新設した際に地価等が上がるなどの情報は見当たらない。これはLRTやBRTほどの影響力がないためと考えられる。また、BRTのみが走行可能な専用レーンを設けずに、既存の道路に導入するのみでは、一般的な路線バスと比べ定時制や輸送量に大きな差がないことも影響力の小さい要因の一つと考えられる。

(3) 観光鉄道における経済波及効果

次に、乗り物自体に希少性を有する交通システム導入による経済波及効果を確認する。以下に観光客を対象にした特別な列車を導入した際の経済波及効果の事例を示す。

「観光資源としての大井川鐵道の課題」¹⁴という論文では、大井川鐵道のSL列車導入による観光客の利用パターンや利用者の特色を調査・分析した。SL列車の運行が開始されたことによる効果として、以下の3つが示された。

- 観光資源としての価値：SL列車自体が観光資源となり、観光客の誘致に成功
- 経営の転換：観光客輸送に重点を置くことで、経営基盤の確立に寄与
- 地域振興：観光客の増加により、沿線地域の経済活性化に貢献

定量的な観点では、年間輸送人員が807,000人(定期旅客208,000人、定期外旅客599,000人)、年間の旅客運賃収入が52,579,000円(定期旅客)、658,364,000円(定期外旅客)であり、観光客の割合として定期外旅客の割合が74%、旅客運賃収入の93%が観光客によるものであった。論文では具体的な数値は示されていないが、導入前までは定期旅客が中心であり、観光客の割合は低かったため、観光客が定期旅客を上回ることから導入による波及効果があったといえる。

このように、我が国では希少性の高い車両を運行することで地域経済の活性化に寄与していることが分かる。

次に、「観光列車の導入による地域経済への効果とその課題—観光列車「伊予灘ものがたり」を事例に」¹⁵という論文では、例として観光列車「伊予灘ものがたり」の導入が地域経済に与える影響を定量的に評価し、地域活性化にどのように寄与するかについて分析している。さらに利用状況や経済データを収集し、産業連関分析を用いて経済波及効果を推計している。また、観光価値の構成要素を分析し、観光列車の魅力も評価している。これらの分析の結果、「伊予灘ものがたり」の導入により、地域内の観光消費が増加し、経済波及効果が確認された。具体的な数値としては、年間利用者数が約2万人、観光消費額が1億4,844万円、経済波及効果が年間で8,408万円であった。85%の高乗車率を維持しており、観光列車の魅力が地域経済にポジティブな影響を与えていることが示された。

上記の2つの論文より、観光地に観光列車を導入することによって、沿線地域に地域活性化による波及効果があると示された。

¹⁴ <http://repo.komazawa-u.ac.jp/opac/repository/all/33821/rcr050-04-tsuchitani.pdf>

¹⁵ https://www.jstage.jst.go.jp/article/tourismstudies/7/2/7_83/_pdf

以上(1)(2)(3)より、LRT や BRT 等の大・中量輸送システムの整備により地価上昇が確認され、なおかつ車両自体に希少性が高く、観光としてのツールとして機能する乗り物は地域への経済波及効果が高いと考えられる。

3.6. 法的面での適合性

3.6.1. 軌道法とその他法律の概要

(1) 運輸・運送事業に関する法律の概要

現在我が国において、旅客を運送する事業は、大きく「軌道事業」「鉄道事業」「自動車運送事業」に分類できる。

軌道事業と鉄道事業は、原則として道路上に敷設するものを軌道事業、専用の鉄道事業者用地に敷設するものを鉄道事業と分けられる。自動車を用い、旅客や貨物を運送する事業を、自動車運送事業としている。

表 3.6-1 事業の分類

事業（根拠法）	事業の概要
軌道事業 （軌道法）	旅客または貨物の運送を行う事業で、原則道路上に敷設されるものを指す。
鉄道事業 （鉄道事業法）	旅客または貨物の運送を行う事業で、原則、鉄道事業者用地に敷設されるものを指し、施設の所有者などの体制により、第一種鉄道事業、第二種鉄道事業、第三種鉄道事業、索道事業（ロープウェー）に分類され、一般の用に供さない専用鉄道も含まれる。
自動車運送事業 （道路運送法）	自動車による旅客または貨物の運送を行う事業で、旅客自動車運送事業、貨物自動車運送事業を指すほか、自動車道事業を含む。

出典：受託者

なお、国内では、複数の事業（根拠法）にまたがって一体的な運行を行う交通システムも存在する。これらのシステムは、道路空間と専用空間を連続して走行したり、複数の誘導方式を活用したりするなど、さまざまな特性を組み合わせることで成り立っているが、その場合にはそれぞれ区間ごとの根拠法に応じた、事業の許可や乗務員の免許が必要となる。

表 3.6-2 複数の根拠法をまたがって運行する特殊事例

事業（根拠法）の組合せ	事例
軌道法＋鉄道事業法	富山地方鉄道富山港線、福井鉄道福武線、東京臨海新交通臨海線（ゆりかもめ）等
軌道法＋道路運送法	名古屋ガイドウェイバス志段味線

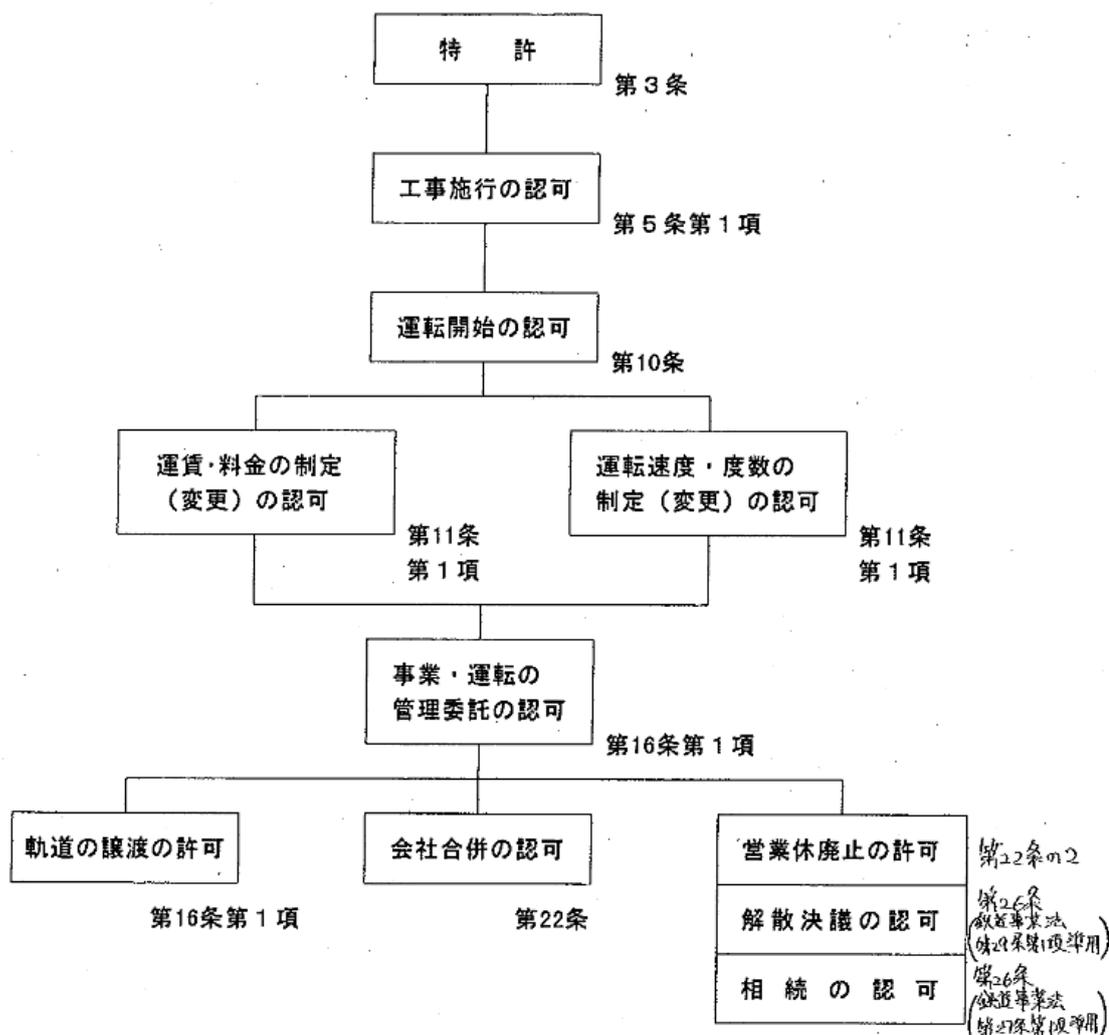
出典：受託者

なお、本検討では、富士スバルラインへの導入を目的としているが、富士スバルラインは山梨県道 707 号富士河口湖富士線であり、道路上への導入となることから、軌道法の適用を念頭に検討を行う。

(2) 軌道法の概要

軌道法（大正 10 年法律第 76 号）は、大正 10 年 4 月 14 日に公布され、その後、大きな制度改正が行われないうまま、現在に至っている。

軌道事業の特許申請から運行開始までに必須となる手続きについては以下に示す体系で規定されている。



出典：国土交通省 HP16

図 3.6-1 軌道法の体系

軌道法は、軌道事業を監督する法律であり、事業の許可、工事の認可、運賃・料金の認可、運行計画の届出などの軌道事業の基本となる事項を定めている。また、軌道施設の抵当権について特に定めた軌道ノ抵当ニ関スル法律（明治 42 年法律第 28 号）が定められている。

¹⁶ https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_frl_000048.html

表 3.6-3 軌道事業に関する法律

法律	要旨	関連する主な省令等
軌道法	軌道事業の特許、工事施行の認可、運転速度・度数（運行頻度）の認可、運賃・料金の届出、管理の受委託や事業譲渡等について規定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 軌道法施行令 ・ 軌道法施行規則 ・ 軌道運輸規程 ・ 軌道建設規程 ・ 軌道運転規則
軌道ノ抵当ニ関スル法律	原則として鉄道抵当法を準用こととし、鉄道抵当法を準用しない場合の条件を規定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 軌道抵当取扱規則

出典：受託者

また、軌道法第 26 条の定めにより、安全管理規程の届出、輸送の安全に関する情報の公表、会計、運行の管理等の受委託、事業の譲渡や相続、法人の解散に関する規定等、一部の項目については、鉄道事業法を準用する規定があるほか、軌道建設規程第 33 条の定めにより、鉄道同等の軌道とみなされた場合においては、旧普通鉄道構造規則や鉄道に関する技術上の基準を定める省令を準用することとなっている。

表 3.6-4 軌道法第 26 条により準用する鉄道事業法の規定

準用する鉄道事業法の規定	既定の内容
第 18 条の 2	輸送の安全性の向上
第 18 条の 3	安全管理規程等
第 19 条の 3	国土交通大臣による輸送の安全に関わる情報の公表
第 19 条の 4	鉄道事業者による安全報告書の公表
第 20 条	会計
第 21 条	鉄道事業用施設に関する担保の特例
第 23 条 第 1 項 (第 3 号・第 5 号・第 6 号)、第 2 項	事業改善の命令
第 25 条 第 3 項	列車の運行の管理等の受委託
第 26 条 第 2 項但書、第 4 項	事業の譲渡及び譲受等
第 27 条 第 1 項、第 2 項、第 4 項	相続
第 29 条 第 1 項	法人の解散
第 54 条 第 1 項	許可等の条件
第 55 条 第 2 項	報告の徴収
第 56 条 第 1 項、第 2 項	立入検査
第 56 条の 2	安全管理規程に係る報告の徴収又は立入検査の実施に係る基本的な方針

出典：受託者

軌道法は、従来の路面電車のほか、道路上に敷設される都市モノレール、新交通システム（AGT）等に対しても適用されるほか、歴史的な経緯等から、大阪市における地下鉄等一部例外的に鉄道にも適用されている事例がある。

表 3.6-5 軌道法が適用されている路面電車以外の事例

システム	事例
新交通システム（AGT）	東京都交通局（日暮里舎人線）、ゆりかもめ、横浜シーサイドライン、大阪高速電気軌道（ニュートラム）、神戸新交通、広島高速交通
都市モノレール	千葉都市モノレール、多摩都市モノレール、大阪モノレール、北九州高速鉄道、沖縄都市モノレール
ガイドウェイバス	名古屋ガイドウェイバス
磁気浮上式鉄道	愛知高速交通
ロープ駆動式交通システム	スカイレールサービス（2024年廃止）
鉄道	大阪市高速電気軌道（Osaka Metro）、名古屋鉄道豊川線 等

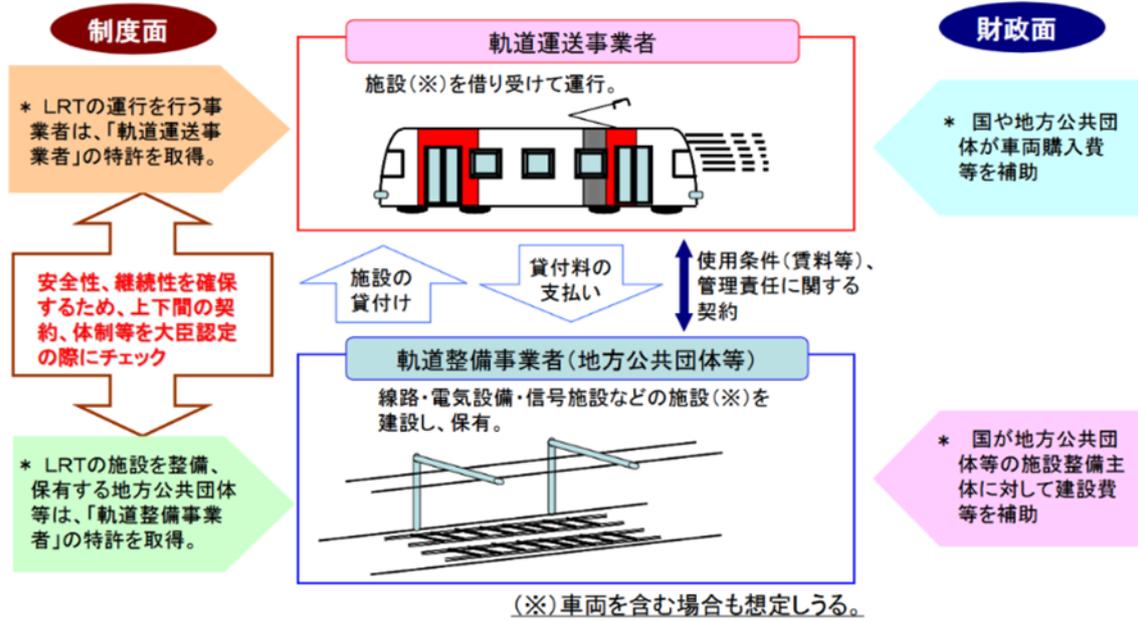
出典：受託者

また、軌道法第3条の特許を受けたものと同等の取扱いとなる事業として、地域公共交通の活性化及び再生に関する法律（平成19年法律第59号）（以下、地域交通法）に基づき地域公共交通計画を定め、計画に即して軌道運送高度化事業を実施するための計画（軌道運送高度化実施計画）を策定し、国土交通大臣の認定を受けた場合がある（みなし特許）。

軌道運送高度化事業の実施にあたっては、軌道整備事業者と軌道運送事業者の二者の共同による事業が可能となり、いわゆる上下分離方式の採用が可能となる。

軌道運送高度化事業の概要

○ 地域公共交通活性化・再生法上に盛り込まれたLRTに関する上下分離制度(軌道運送高度化事業)により、事業者のインフラ整備負担を軽減した上で効率的な整備と整備後の安全運行・安定経営を確保することができるようになった。



出典：国土交通省 HP¹⁷

図 3.6-2 軌道運送高度化事業の概要

¹⁷ <https://www.mlit.go.jp/kisha/kisha08/08/080227/03.pdf>

(3) その他法律の概要

1) 鉄道事業法の概要

鉄道事業法（昭和 61 年法律第 92 号）は、昭和 61 年 12 月 4 日に公布されており、国鉄民営化のなかで、国鉄路線の運営を規定して日本国有鉄道法と私鉄の運営を規定した地方鉄道法、ロープウェイ等の運営について規定した索道規則を統合し成立した法律で、その目的を「鉄道事業等の運営を適正かつ合理的なものとすることにより、輸送の安全を確保し、鉄道等の利用者の利益を保護するとともに、鉄道事業等の健全な発達を図り、もって公共の福祉を増進することを目的とする。（第 1 条）」とされている。



(凡例) 法§ 5②: 鉄道事業法第5条第2項

出典 国土交通省 HP¹⁸

図 3.6-3 鉄道事業法の体系

¹⁸ <https://www.mlit.go.jp/common/001428507.pdf>

法律成立当初の鉄道事業は需給調整規制のもとに免許制であったが、平成 12 年の改正鉄道事業法によって需給調整が廃止され、許可制となった。また、平成 10 年の運輸技術審議会からの答申を受け、平成 13 年には、技術基準を性能規定化することを目的として、鉄道に関する技術上の基準を定める省令が施行され、関連して施設及び車両の定期検査に関する告示及び特殊鉄道に関する技術上の基準を定める告示が定められている。さらに、平成 14 年に同省令などの解釈は、強制力を持たない形で具体化、数値化した鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準を通達している。

鉄道事業法は、軌道を除くすべての鉄道事業（索道や鋼索鉄道などを含む）を監督する法律であり、事業の許可、工事の認可、運賃・料金の認可、運行計画の届出などの鉄道事業の基本となる事項を定めている。また、鉄道事業については、輸送について特に定めた鉄道営業法（明治 33 年法律第 65 号）と、鉄道施設の抵当権について特に定めた鉄道抵当法（明治 38 年法律第 53 号）が定められている。

富士山新交通において鉄道事業法を適用する場合には、走行空間は、道路への敷設は原則行えず、他の車両を排した鉄道事業者の用地としなければならない。また、目視で運行する軌道事業と異なり、信号・保安装置等の設置が必要となる。

表 3.6-6 鉄道事業に関する法律

法律	要旨	関連する主な省令等
鉄道事業法	鉄道事業の許可、工事の認可、施設の検査、運賃・料金の届出、管理の受委託や事業譲渡等について規定	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄道事業法施行規則 ・特殊な構造を有する鉄道施設を定める告示 ・鉄道事故等報告規則 ・鉄道事業会計規則、等
鉄道営業法	鉄道設備や運送の基本を定め、鉄道係員・旅客双方の行為に関する処罰等を規定	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄道運輸規程 ・鉄道に関する技術上の基準を定める省令 ・動力車操縦車運転免許に関する省令、等
鉄道抵当法	鉄道施設等に抵当権を設定する際の手続き等を規定	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄道抵当法施行規則

出典：受託者

2) 道路運送法の概要

道路運送法（昭和 26 年法律第 183 号）は、「貨物自動車運送事業法（平成元年法律第八十三号）と相まって、道路運送事業の運営を適正かつ合理的なものとし、並びに道路運送の分野における利用者の需要の多様化及び高度化に的確に対応したサービスの円滑かつ確実な提供を促進することにより、輸送の安全を確保し、道路運送の利用者の利益の保護及びその利便の増進を図るとともに、道路運送の総合的な発達を図り、もって公共の福祉を増進すること」を目的とした法律である（第 1 条）。

この法律における道路運送事業は、旅客自動車運送事業、貨物自動車運送事業及び自動車道事業に分類される。

富士トラムにおいて道路運送法を適用する場合、一般交通の流入を抑制するためには、道

路交通法に基づく車両通行止め等の手続きを講じる必要がある。ただし、公安委員会が交通規制を行うことができるのは「道路における危険の防止」、「交通の安全と円滑」、「交通公害その他の道路の交通に起因する障害の防止」を行うため必要があると認められる場合であり、目的達成のために必要最小限の交通規制でなければならないとされている（「交通規制基準」警察庁）¹⁹。

車両は道路運送車両法に準拠することが求められる。

表 3.6-7 道路運送事業の分類

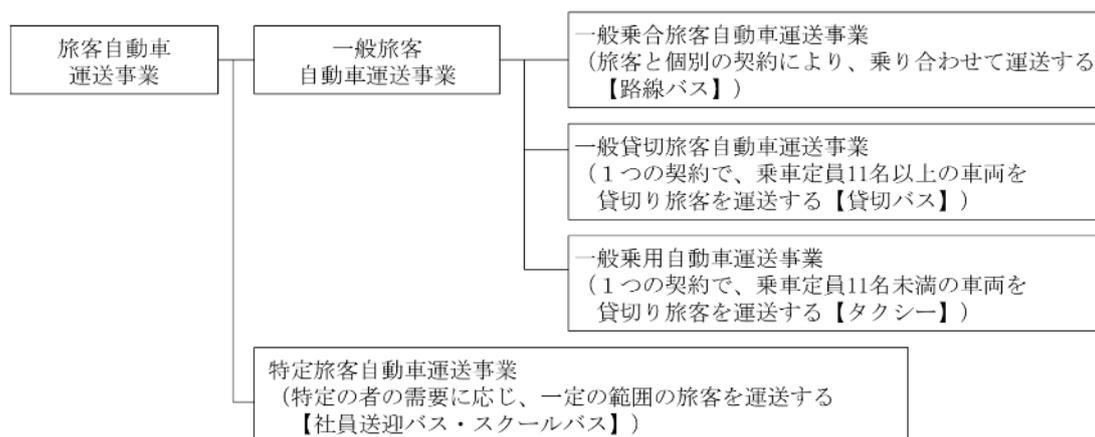
事業	概要
旅客自動車運送事業	他人の需要に応じ、有償で、自動車を使用して旅客を運送する事業で、一般旅客自動車運送事業および特定旅客自動車運送事業をいう
貨物自動車運送事業	貨物自動車運送事業法による貨物自動車運送事業
自動車道事業	一般自動車道を専ら自動車の交通の用に供する事業

出典：受託者

なお、自動車道事業における「自動車道」とは、専ら自動車の交通の用に供することを目的として設けられた道路で、道路法による道路以外のものを指す。そのため、現在の富士スバルラインの通行料を徴収する営業は自動車道事業に該当しない。

さらに、旅客自動車運送事業のうち、一般旅客自動車運送事業は、車両1単位あたりの契約個数や車両の乗車定員によって、一般乗合旅客自動車運送事業、一般貸切旅客自動車運送事業、一般乗用自動車運送事業に細分される。通常の路線バスのように運賃收受を行う場合は、一般乗合旅客自動車運送事業に分類される。

また、特定旅客自動車運送事業は、スクールバスなど特定の者のみを輸送する事業形態である。



出典：受託者

図 3.6-4 旅客自動車運送事業の分類

¹⁹ <https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/seibi2/kisei/mokuteki/mokuteki.html>

3.6.2. 軌道法等の詳細

(1) 軌道法の手続き

軌道法を適用した路面電車等の交通システムの導入にあたっては、おおむね次のような手順を要する。

軌道を敷設して運輸事業を經營しようとするものは、国土交通大臣の特許を受けなくてはならないと軌道法第3条で定められている。軌道法の特許とは、軌道の運輸事業に対する許可を与えると同時に、軌道の敷設に対する道路管理者の許可又は承認をうけるための手続きである。

軌道の特許の申請者は、軌道運輸事業を經營する能力があれば、地方公共団体、会社、組合、個人を問わず、申請が可能である。

軌道法施行令及び軌道施行規則では、軌道法における必要な手続き及び提出図書を定めている。軌道の特許においては、申請者に軌道の運輸事業を經營する能力があり、安全かつ継続的に事業を実施できるかを主に審査するものである。

軌道の特許を受けた後、工事施行の認可を申請する必要がある。(軌道法施行規則第7条)

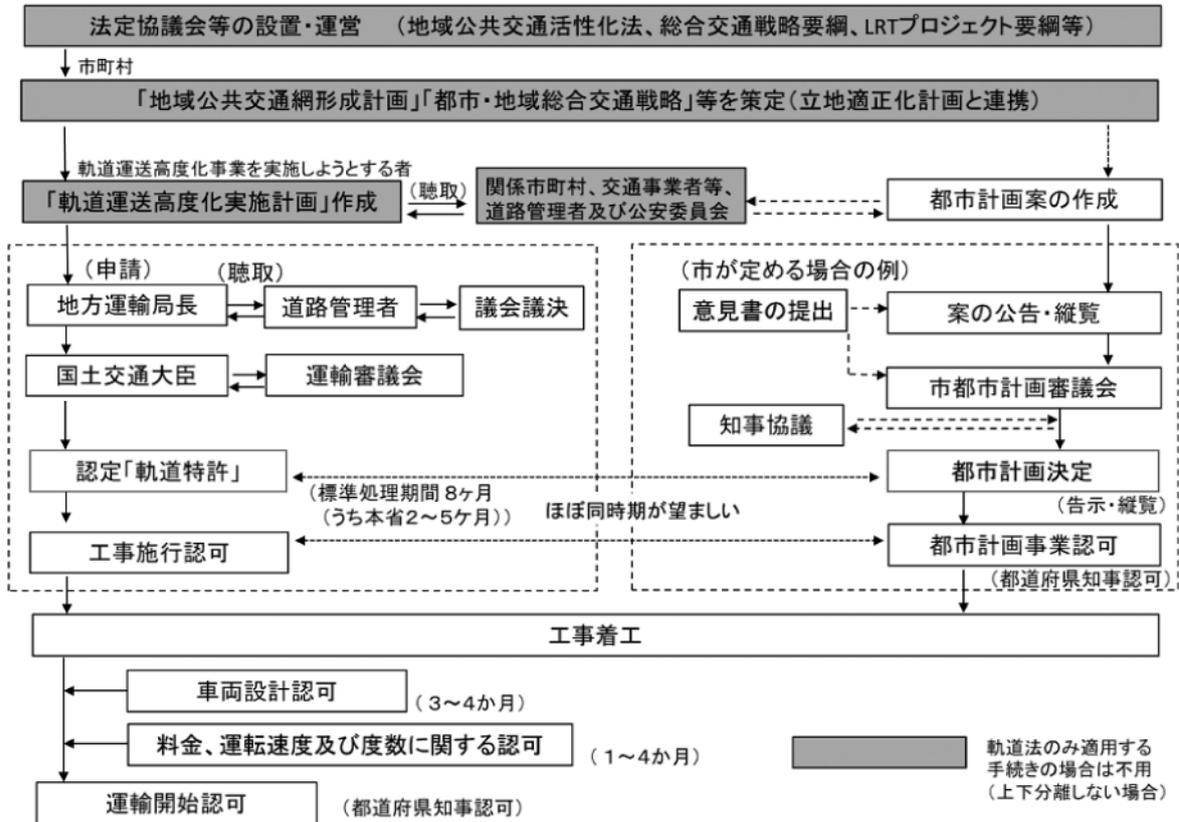
軌道の工事施行認可の申請にあたっては、軌道建設規程にもとづき、軌道の実施設計を行うことが必要である。また、特別の事由がある場合には、特別設計を行うこととされ(軌道建設規程第34条)、許可申請を工事施行認可申請と同時に提出しなくてはならないとされている。

軌道の工事施行認可においては、軌道建設規程、軌道運転規則等との整合について審査される。また、道路に軌道を敷設するため、道路管理者、河川管理者、公安委員会などの関係機関と十分に協議調整を行うことが重要である。

軌道法施行規則第8条、第9条に記載内容の規定がない項目については、軌道法施行規則第9条第1項第19号の「特殊設計」として認可申請する必要がある。その他、車両設計認可、料金、運転速度、運転度数に関する認可を経て、運輸開始認可を得て開業に至る。

路面電車の新設、延伸にかかる手続き

1. 地域公共交通の活性化及び再生に関する法律及び軌道法、都市計画法に基づく手続き



出典：街路交通事業事務必携（令和5年版） P,369

公益社団法人日本交通計画協会 編

国土交通省都市局道路交通施設課 監修

図 3.6-5 軌道法と関係法令の関係性

(2) 事業の特許

軌道事業を經營しようとする者は、国土交通大臣の特許を受けなければならない。軌道法においては、特許という用語が用いられており、鉄道事業法や道路運送法における事業の許可に相当する。

特許にあたっては、特許申請書に起業目論見書や線路予測図、建設費概算書、収支概算書などを添付し、特に事業や法人の持続性や、採算性に関して審査を受ける。（軌道法第3条、施行令第1条、施行規則第1条）。また、軌道を道路以外に敷設する場合（新設軌道の敷設）は、その理由を記した事由書も添付しなければならない。

起業目論見書は、事業の目的（旅客運送、荷物運送の別）や線路の起終点、併用軌道の始終点、軌道を敷設する道路の延長、一般幅員、計画幅員（道路の種類ごとに記載）、線路の延長、単線・複線の別、軌間、車両の最大幅員、動力などを記載する。

軌道は、道路上に敷設するため道路占用物件となる。軌道法第4条の定めにより、軌道特許を受けた時点（みなし特許の場合は軌道運送高度化実施計画が認定された時点）で、軌道

事業に要する道路の占用については道路管理者の許可又は承認を受けたものとみなされる。

なお、一般的に道路占用を行う場合には、道路占用料が発生するが、軌道敷設により発生する道路占用料の額は「政令ノ定ムル所ニ依ル」とあり、令和6年時点で該当する政令が定められていないため、道路占用料は徴収されない。

併用軌道において、定められた範囲内（軌条間とその左右61cmずつ）については、道路の維持及修繕を軌道経営者自ら行う必要がある。（軌道法第12条）

(3) 事業の施行認可

軌道法の特許を取得した経営者は、国土交通大臣の指定する期間内に、工事施行の認可を申請しなければならない。（軌道法第5条）

施行認可にあたっては、申請書に線路実測図、工事方法書、建設費予算書、特許を受けた者が会社の発起人となるときは定款および会社設立の登記事項証明書を添付し、都道府県知事を経由して国土交通大臣に提出し、かつ軌道を敷設する場合に占用することとなる道路または架線に関する占用面積図を都道府県知事に提出しなければならない。（施行令第5条、施行規則第7条）

線路実測図は、平面図、縦断面図、軌道を敷設する道路の横断定規図の3点である。

工事施行認可の認可を受けた際には、道路に関する工事について、道路管理者の許可や承認を受けたものとみなされ、同時に、河川法、砂防法に関する許認可についても同様に認可を受けたものとみなされる。（軌道法第6条）

(4) その他法律の手続き

自治体等が整備する場合においては、軌道法の適用を受ける特許取得以前の段階では、自治体の計画（都市マスタープラン、交通マスタープラン等）での位置づけを行うことが一般的となっている。その上で、導入可能性の検討、基本計画（需要予測の実施や、運行計画の検討）の策定を行っている。

なお、富士トラムの検討区間においては、富士河口湖町内を除き都市計画区域外である。富士河口湖町内は、富士北麓都市計画区域内であり、富士河口湖町都市計画マスタープランが策定されているが、富士トラムに関する計画は特に定められていない。

また、これまでの軌道法に関連する手続きに併せ、路面電車の走行に必要な施設（本線部、乗降施設等）を「特殊街路」（路面電车道）として都市計画決定を行うことになり、平成10年4月に旧建設省都市局より建設省都計第43号として通達された。なお上述のとおり、本検討路線は都市計画区域外を通過するが、都市計画法第11条では、特に必要がある場合は都市計画区域外でも都市計画道路を定めることができるとされている。

3.6.3. 軌道法に関する国の支援制度の概要

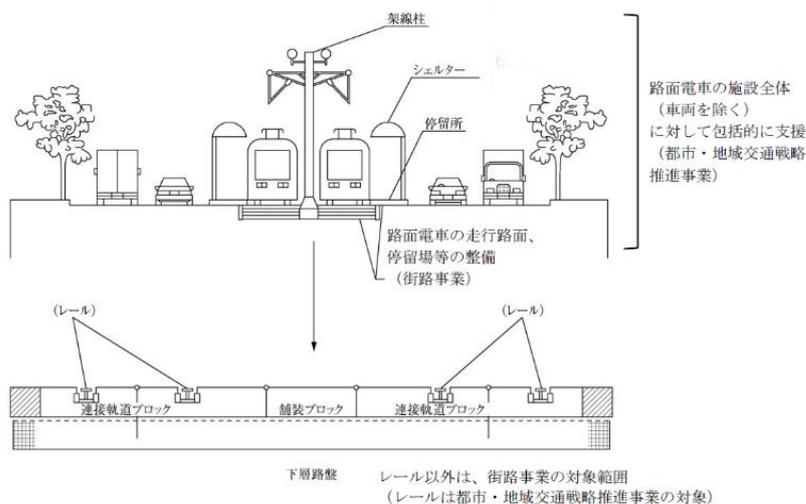
軌道法を適用する交通システムの整備にあたっては、社会資本整備総合交付金をはじめとする国の支援制度がある。以下に概要を記す。（本業務調査時点で有効なもの）

LRT 整備における補助事業は、平成 9 年（1997 年）の路面電車走行空間改築事業によって始まっている（現在は道路事業に統合）。この事業制度を最初に適用した事例は豊橋鉄道であり、駅前広場整備事業に合わせ、結節機能向上を図るため軌道を 140m 延伸させたものである。また、富山ライトレール（現：富山地方鉄道）も同事業の適用を受けた路線である。

平成 21 年度までは LRT 総合整備事業として LRT の導入促進が進められていた。これは、LRT プロジェクトの促進のため個別補助事業を同時採択し総合的、一体的支援を行うことを狙いとしていた。個別補助事業は、それぞれ旧運輸省である鉄道局による軌道事業者に対する LRT システム整備費補助（1/4 補助）と旧建設省である道路局、都市局による地方公共団体に対する道路特別会計を活用した路面電車走行空間改築事業（1/2 補助）、一般会計による都市交通システム整備事業（1/3 補助）に分けられる。

当初は、鉄道局補助として低床式車両、車庫、変電所等インフラ部分で無い部分が支援され、道路局、都市局補助として走行路面や停留場等の道路本体として認められる部分への道路特別会計による支援と車両を除くそれ以外の部分への一般会計による支援がなされ、各局同士の大きな役割分担がなされていた。都市局・道路局補助については平成 22 年に社会資本整備総合交付金として交付金化された。社会資本整備総合交付金等による支援対象の基本的な考え方については、国土交通省より次のように示されている。

街路事業においては、道路管理者がおこなう路面電車の走行路面、停留場等の整備に必要な道路改築費を補助対象とする。一方で、都市・地域交通戦略推進事業（補助事業を含む）では、平成 19 年度に拡充し、路面電車の停留場（シェルターを含む）や架線柱に加え、レール、架線、変電所、車両基地等を含めた路面電車に関する施設全体（車両を除く）を包括的に補助対象としている（下図参照）。



出典：街路交通事業事務必携（令和 5 年版）P,366（公益社団法人日本交通計画協会 編、国土交通省都市局道路交通施設課 監修）

図 3.6-6 社会資本整備総合交付金等による支援対象の基本的な考え方

また、鉄道局補助については平成 23 年に地域公共交通確保維持改善事業として組み替えられている。その後、鉄道局補助は、平成 28 年に一部、「訪日外交人旅行者受け入れ環境整備緊急対策事業」として観光庁に移管、さらに令和 5 年に「ポストコロナを見据えた受入環境整備促進事業」、令和 6 年に「地域における受入環境整備促進事業」と名称が変更されている。

さらに、二酸化炭素の排出抑制を目的として平成 27 年度より国土交通省と環境省の連携事業として、「二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金」が創設され、令和 6 年度時点では「地域の公共交通×脱炭素化移行促進事業」として、LRT システムの整備に伴う車両の導入等に対し、地方公共団体および民間企業を対象に補助金が交付されている。

その他、補助率のかさ上げについて、関連する各種計画を策定することによって幅広く対象となるよう経年的に見直しが行われている。

上述したいずれの補助についても、これまでの軌道整備（路面電車・新交通・都市モノレール）は、都市内交通の整備を目的として行われてきたものであり、富士山新交通の検討趣旨とは異なるものである。そのため、既存の補助メニューが適用されない可能性が考えられる。

3.7. 事業採算性の概略

3.7.1. 収支計算の前提

(1) 交通事業の実施形態

富士山新交通システム事業全体では、交通事業に加え周辺の開発事業も検討されている。周辺開発に関する事業収支は令和5年度調査と変更がないため、本節における収支計算は交通事業を対象とする。詳細は第4章に記述するが、交通事業の事業形態は上下分離を行うことが想定されている。すなわち、インフラの整備を公共の山梨県が行い、運営は民間事業者が担うことを想定する。施設の保有については、過年度までの検討から、インフラ部分の軌道・磁気・白線および停留所は公共が保有し、車両と付帯施設は民間が保有することとする。なお、大規模更新は民間が全て負担することとする。

なお、対象とする交通システムは(1)LRT、(2)誘導系（白線誘導読み取り式システムおよび磁気マーカ誘導式システム）、(3)EVバス、の三つを対象とする。誘導系の二つのシステムについては、厳密には白線の塗布と磁気マーカの埋込で若干コストは異なるが、これらの技術を一部組み合わせる形式も存在することから、本調査ではコストが高いであろう磁気マーカのコストを見積もることとする。

コスト積算については、最新の統計データが存在するものはアップデートしている。

(2) 運行計画

事業費積算のため、運行計画を検討する。LRTは過年度調査において計算されており、その値を用いる。誘導系については、輸送力はLRTと同程度とするが、運行時間についてはゴム車輪である利点を鑑み、EVバスと同じ条件とする。EVバスの運行計画については、

表3.7-1に示す通りとする。なお、運行距離は片道27.7kmとなる。参考のためにLRT・誘導系についても併記する。

計算によると、EVバスの運行は1時間あたり53本の運行が必要であり、旅客の乗車が完了するとすぐに出発する運行サイクルを継続する必要がある。

表 3.7-1 運行計画の前提条件と計算結果

項目	LRT	誘導系	EV バス	備考
ピーク輸送人数	1,200 人/時	1,200 人/時	1,200 人/時	
1 両もしくは 2 編成 連結あたりの輸送力	120 人/編成 連結	120 人/編成連 結	23 人/両	LRT と誘導系は 2 編 成連結状態で運行。 “編成連結”と表記
往路時間	52 分	52.5 分	52.5 分	富士急行バスの世界 遺産センターから五 合目行きを参考
復路時間	74 分	48.5 分	48.5 分	富士急行バスの五合 目から世界遺産セン ター行きを参考
往復時間合計	126 分	101 分	101 分	
ピーク運転本数	10 本/時	10 本/時	53 本/時	
オフピーク運転本数	4 本/時	4 本/時	21 本/時	480 人/時を輸送
運転間隔	6 分ヘッド	6 分ヘッド	1 分 8 秒ヘッ ド	
必要車両数	21 編成連結	17 編成連結	90 両	
予備車両数	3 編成連結	3 編成連結	14 両	必要車両数の約 15%
調達車両数	24 編成連結 48 編成	20 編成連結 40 編成	104 両	LRT と誘導系は 1 編 成あたり 3 両構成

*往路時間・復路時間にはそれぞれ麓・五合目での折り返し時間と中間駅での停車時間を含む

出典：LRT は過年度調査をもとに受託者作成、EV バスは受託者作成

1 年間の運行計画については、過年度調査において、標準時期日数 183 日間、多客時期日数 92 日間、閑散時期日数 90 日の合計 365 日と設定されていた。通年観光を目指すものの、冬季は降雪や路面凍結等で運行が難しいことがある。除雪等の最低限の対策を行う事で、現時点では四合目まであがることができるのは表 1.2-2 でまとめた営業実績から、280 日が現実的と考えられる。これを考慮し、本調査では表 3.7-2 にまとめるそれぞれの日数と時間帯を前提とする。

表 3.7-2 各期のピーク・オフピーク時間帯の設定

	標準(188 日)	多客時(92 日)
ピーク	8 時間	15 時間
オフピーク	7 時間	0 時間

出典：過年度調査をもとに受託者作成

表 3.7-1 および表 3.7-2 にまとめた条件から、LRT・誘導系および EV バスの走行車両キロを表 3.7-3 にまとめる。なお、車両走行キロの計算は以下の通りとなる。なお、LRT と誘導系の運転本数は、編成としての運行本数は編成連結の運行本数の 2 倍となる。

$$\text{年間編成・両キロ} = \text{走行延長} \times \text{1日あたり運転本数} \times \text{年間運転日数}$$

表 3.7-3 年間車両キロの計算結果

	LRT・誘導系	EV バス
年間編成・両キロ	3,778,723 キロ	9,999,035 キロ

出典：過年度調査をもとに受託者作成

3.7.2. 初期費用

(1) LRTの初期費用

LRTの初期費用については、過年度調査の積算結果を活用しており、当時から変更していない。表 3.7-4 に LRT の初期費用をまとめる。

表 3.7-4 LRT の初期費用

費目	金額(億円)	備考
付帯構造物	30	擁壁、トンネル、構造物の整備
軌道	340	
軌道付加物	120	ロードヒーティング
駅	80	
電力施設	300	
通信設備	80	
車両	180	既存の LRT 車両の事例の予定価格、 清掃車、除雪車
車両基地	50	
交通結節点整備	45	
道路復旧	15	
ライフライン整備	100	
合計	1,340	

*金額は税抜き

出典：過年度の県の調査結果をもとに受託者整理

(2) 誘導系の初期費用

誘導系の初期費用は、各費目の別事業での実績等から単価を取得している。LRTと同規模が想定されるものは付帯構造物、軌道付加物、車両基地、交通結節点整備、ライフライン整備であり、LRTの初期費用を引用する。

磁気マーカの単価は技術雑誌アスファルト 239号（令和5年12月号）に掲載の情報から取得している。

駅（停留所）は、車両重量の軽量化と軌道整備不要のため、大規模な駅躯体工事を行わない。駅設備についてもホームドアやエスカレータ・エレベータ、鉄道駅のような改札機の設置は想定せず簡素化する。

車両単価はサラワクメトロ社へのヒアリングを通じて取得した維持管理も含めた単価から、初期費用のみの単価を採用した。なお、1編成連結あたり3車体を二つ連結させる前提であるが、1編成あたり4車体以上の長大編成にすることでさらにコストを下げられる可能性がある。

電力設備については、水素を前提としているためLRTのような大規模変電所は不要となる。他方で、小規模な給電施設は運行およびロードヒーティングに必要となり、ライフライン整備に含んでいる電気施設を活用する。

水素供給施設（水素ステーション）については、3.4.3節に示した計算から、300Nm³/hの能力が12個必要となる。経済産業省の「FCV・水素ステーション事業の現状について」の情報から、規制・技術開発取組後の300Nm³/hの製造能力あたりの水素ステーション設置費用は4.1億円となっており、この単価を活用する。

通信設備は、サラワクメトロの事例を参考に地上側の信号・通信等を考慮している。

道路復旧については、LRTの場合は軌道以外の部分の復旧が必要であるが、誘導系の場合は走行箇所への補強が必要である。富士スバルラインの場合、登りの場合は常時加速、下りの場合は常時減速が必要となり、路面への負担は通常より大きいと考えられる。そのため、全線に渡ってコンクリート舗装を行うこととする。

表 3.7-5 に誘導系の初期費用をまとめる。

表 3.7-5 誘導系の初期費用

費目	金額(億円)	備考
付帯構造物	30	LRT と同額
磁気マーカ	3	本線 27km 往復と車両基地に埋設
軌道付加物(ロードヒーティング)	120	LRT と同額 (ロードヒーティングを導入する場合)
駅 (停留所)	37	躯体工事は五合目駅のみとし簡素化する
水素ステーション	18	3600Nm ³ 供給能力分
通信設備	30	地上信号・通信・SCADA 等
車両	171	車両、清掃車、除雪車
車両基地	50	LRT と同額
交通結節点整備	45	LRT と同額
走行路面補強	14	タイヤ走行箇所の路面補強
ライフライン整備	100	LRT と同額 (電気施設込み) (共同溝を整備する場合)
合計	618	

*金額は税抜き

*ライフライン整備費は LRT との比較のため計上

出典：受託者

(3) EV バスの初期費用

EV バスの初期費用は、LRT の初期費用をベースに積算する。バスのため軌道や磁気マーカ等は不要となる。また、通信施設も不要となる。停留所については、停留所の機能自体は LRT や誘導系と同程度とするが、駅躯体の工事は実施しない想定とする。車両については、登坂性能が優れており、いすゞ自動車の ERGA EV の着席のみを前提とする。その他については LRT と同規模とする。表 3.7-6 に EV バスの初期費用をまとめる。

表 3.7-6 EV バスの初期費用

費目	金額(億円)	備考
付帯構造物	30	LRT と同額
軌道・磁気マーカ	0	不要
軌道付加物	120	LRT と同額
停留所	37	躯体工事は五合目駅のみとし簡素化する
電気充電ステーション	6	40 台
通信設備	0	不要
車両	78	車両はいすゞ自動車の ERGA EV を想定、清掃車、除雪車
車両基地	50	LRT と同額
交通結節点整備	45	LRT と同額
道路復旧	0	不要
ライフライン整備	100	LRT と同額
合計	466	

*金額は税抜き

*ライフライン整備費は LRT との比較のため計上

出典：受託者

3.7.3. 運営・維持管理費用

運営・維持管理費用は大きく分けて(1)人件費、(2)経費全般、(3)諸費、(4)減価償却費、(5)軌道整備事業者への施設賃貸料、(6)営業外費用、に分割される。それぞれの見積もりについては、基本的には過年度調査の LRT に対する積算結果をベースに修正を行う。

(1) 人件費

人件費の分類は、本社要員、技術要員、運転士に分割して積算している。バスの人件費については、国土交通省が公表している令和 4 年度の乗り合いバス事業の収支報告²⁰をもとに、走行キロ当たりの原単価を 300 円とする。これに表 3.7-3 にまとめた走行キロを乗じる。

誘導系については、LRT と同様に本社要員、技術要員、運転士に分けて比較を行う。本社要員については LRT と誘導系は同じと仮定する。技術要員については、誘導系は軌道の管理は不要になる。また、誘導系は大量の電気技術者は不要だが、水素の技術要員と最低限の電気の技術者の確保が必要になる。これらの状況から、LRT と誘導系の技術要員数は、LRT 全技術要員 40 名のうち軌道技術者の 5 名を減じた人数と仮定する。運転士については、運転本数は LRT も誘導系も同様のため、こちらも同人数とする。よって、誘導系は LRT より技術要員 5 名減じた要員数に対して、鉄道統計年報の最新の平成 29 年度～令和 3 年度の平均値より設定した単価を乗じる。LRT についても、単価を最新の平均値に修正する。

(2) 経費全般

経費全般の中には、修繕費、動力費、その他経費に分けて積算されている。LRT と誘導系の修繕費については、鉄道統計年報の最新の平成 29 年度～令和 3 年度の平均値から営業キロあたり一日あたりの走行単価を算出し、これに延日キロ（営業日数に営業キロを乗じた値）を乗じて算出する。誘導系については、LRT と比較すると軌道と電路保守の大規模な維持管理が不要となる。鉄道統計年報の最新の平成 29 年度～令和 3 年度の平均値から線路と電路の修繕費用を引いた値を採用する。これに加え、水素ステーションの修繕費を経済産業の実績から追加する。また、水素ステーションの運営に係る費用も考慮する。経済産業省の「FCV・水素ステーション事業の現状」（2021 年）より、2019 年の実績から借地料を除いた金額を修繕費に考慮する。

バスについては、国土交通省の乗合バス事業の実績²¹から、車両修繕費の単価を 32 円/キロとする。これに表 3.7-3 で算出した年間車両キロを乗じる。

²⁰ <https://www.mlit.go.jp/jidosha/content/001712195.pdf>

²¹ https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha03_hh_000314.html

表 3.7-7 修繕費

	LRT	誘導系	EV バス
延日キロ	7,756	7,756	-
年間車両キロ	-	-	9,999,035 キロ
営業キロあたり一日あたりの単価	89,338 円	15,073 円	-
走行キロあたり単価	-	-	31.74 円/キロ
水素ステーション	-	18,000 万円	-
修繕費用	693 百万円	297 百万円	317 百万円

出典：受託者

動力費については、鉄道統計年報の最新の平成 29 年度～令和 3 年度の平均値 63 円/車両走行キロとする。

誘導系については、水素を動力源とするため水素の走行単価の簡易的検討を行う。Mobilus 社の情報によると、サラワクメトロ社で導入が予定されている ART システムは 70MPa 仕様で消費効率は 0.33kg/km となっている。しかし、この数値は平地を走行することを前提としており、平均 55‰の勾配を有する富士スバルラインでは消費効率が悪化するものと思われる。これを燃料電池が生み出すべき電力量から算出すると、3.4.3 に示した通り、0.468kg/km となる。加えて、第 2 回モビリティ水素官民協議会（2022 年 10 月 5 日）の資料によれば、70MPa 仕様の水素コストは OPEX（運営費用）のみで 963 円/kg と試算されている。これらの情報から、水素の走行単価は 451 円/km と試算される。なお、令和 5 年の水素基本戦略²²によると、2030 年の水素単価の目標値は 334 円/kg とされている。加えて、水素製造を別の場所で行い、その水素を運搬する費用がかかる。経済産業省の資料によると、水素の輸送単価は 610 円/kg であり、本交通事業で必要な 1 日あたりの輸送量は 3.9 トンとなる。年間 280 日稼働したとして、これらの輸送にかかる費用も動力費に考慮する。

EV バスについては、国土交通省の電動バス導入ガイドライン²³によると、ディーゼルバスの動力費に対する大型 EV バスの動力費削減率は 8% である。ディーゼルバスの動力費は令和 4 年度の乗り合いバス事業の収支報告によると 47 円/km のため、EV バスの動力費は 44 円/km とする。なお、この数値は概算であり、様々な詳細条件で変動する可能性がある。表 3.7-8 に各交通システムの動力費をまとめる。

表 3.7-8 動力費

	LRT	誘導系	EV バス
年間車両キロ	3,778,723 キロ	3,778,723 キロ	9,999,035 キロ
単価	63 円/車両走行キロ	451 円/車両走行キロ	44 円/キロ
水素運搬費	-	58,968 万円	-
動力費用	238 百万円	2,293 百万円	440 百万円

出典：受託者

²² https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/saisei_energy/pdf/hydrogen_basic_strategy_kaitei.pdf

²³ <https://www.mlit.go.jp/common/001265916.pdf>

その他経費については、動力源や交通システムに関わらず必要な経費と考えられるため、全ての交通システムで共通とする。鉄道統計年報の最新の平成 29 年度～令和 3 年度のその他経費の平均値は 50,788 円/営業キロとなっているためこの値に修正する。

(3) 諸費

諸費は大きく分けて、固定資産税、法人税、減価償却費に分けられる。全て令和元年度調査で設定している条件と同じとする。

固定資産税は固定資産税評価額の 1.40%とする。なお、新設された変電所に係る償却資産は 5 年間 3/5（地方税法 349 条の 3⑤）であること、また高齢者、身体障害者等が円滑に利用できる低床型路面電車については評価額が 5 年間 1/3（地方税法附則 15⑤）であることから、当該評価額に税率を乗じて算出する。法人税およびその他の税の内容を表 3.7-9 に示す。

表 3.7-9 法人税およびその他税

種類	内容
法人税	所得の 23.2%
法人事業税	所得割 1.00%（所得が 800 万円を超える場合） 付加価値割 1.20% 資本割 0.5% 特別法人事業税 所得割の 260%
法人県民税	法人税割 法人税額の 1.8% 均等割 84 万円（資本金 50 億円超）
法人市民税	法人税割 法人税額の 8.4% 均等割 300,000 円（資本金 50 億円超・従業員 50 人超）
登録免許税	（土地）不動産の価額の 2.0% （建物）不動産の価額の 0.4% （株式会社等の設立の登記）資本金の 0.7%
不動産取得税	（土地）固定資産税評価額の 3.0% （家屋〔住宅以外〕）固定資産税評価額の 4.0%

出典：過年度調査をもとに受託者作成

(4) 減価償却費

減価償却費は軌道法を前提とし、財務省令で定める耐用年数により、基本的に定額法で償却する。車両のみ定率法で償却する。

表 3.7-10 減価償却の設定

種類	償却年数	内容
路盤（高架橋）等	50年	
土工等	57年	
トンネル等	60年	
LRT付加施設	30年	40年保つものと設定
道路復旧	30年	40年保つものと設定、公共物である
橋梁	50年	公共物である
電路（一般）	25年	40年保つものと設定、他人のものである
上下水道	40年	公共物である
軌道	20年	40年保つものと設定
ロードヒーティング	10年	20年保つものと設定
停車場	32年	40年保つものと設定
変電設備	40年	
電路設備	19年	40年保つものと設定
信号・通信設備	30年	40年保つものと設定
車両	13年	20年保つものと設定、定率法で償却
車両基地	32年	40年保つものと設定

出典：過年度調査をもとに受託者作成

(5) 軌道整備事業者への施設賃貸料

軌道運送事業者から軌道整備事業者への施設貸付料は過年度調査において設定された30%とする。なお、宇都宮LRT事業の例では、「2023年度決算（概要）について」によれば、2023年度の鉄道事業営業収益が739,165千円、その他事業営業収益が55,343千円で合計収益が794,508千円であった。宇都宮市へのヒアリング結果では、軌道運送事業者からの施設貸付料の2024年度の予算額は75,786千円を計上しているとのことである。この状況から、収益の概ね10%が貸付料として支払われていると分かる。

(6) 営業外費用

営業外費用は長期借入金利息と短期借入金利息が該当する。ともに過年度調査において設定されている利率を本調査でも適用する。表 3.7-11 に内容をまとめる。

表 3.7-11 営業外費用

種類	内容
長期借入金利息	償還方法：10年元本均等償還（うち3年据置） 利率：2.0%（長期プライムレート 10年平均より設定）
短期借入金利息	利率：1.48%（短期プライムレート 10年平均より設定）

出典：過年度をもとに受託者作成

3.7.4. 大規模更新費用

長期的に事業を実施する上で、大規模更新が必要となる。表 3.7-12 に大規模更新が必要なインフラとそのサイクルをまとめる。

表 3.7-12 大規模更新が必要なインフラとそのサイクル

費目	LRT	誘導系	EV バス
ロードヒーティング	20 年毎に更新		
構造物・設備・ライフライン	40 年毎に更新		
車両	30 年毎に更新		15 年毎に更新 バッテリーは 15 年 の間に 1 度交換
除雪車	20 年毎に更新		

出典：受託者

3.7.5. 収支計算の想定事項

(1) 運賃と需要想定

運賃と需要の関係は過年度調査において分析されている。過年度調査では複数の想定運賃に対する利用意向ヒアリング調査を行っており、それらの利用意向割合から需要を想定している。分析によると、旅客からの支払いが1万円の時は年間需要が300万人となる。本年度の調査では利用者以降調査は実施していないため、支払い金額1万円および年間需要300万人を前提とする。

外国人価格については、Japan Rail Passのようなインバウンドによる訪日外国人受入れを積極的に受け入れるための割引政策は存在する。他方で、交通事業を含む公共施設において国籍による相違で運賃を割増しする事例は日本には無く、現時点では外国人価格導入は難しいと考える。そのため、外国人も同様に1万円の料金を支払う前提とする。

県民割については、日本国内の事例から、条令や要綱等で対応できる可能性が高いため、本調査においては県民無料も一つの分析ケースに加える。具体的な県民の割合は令和元年度調査においてヒアリングされた日本人と外国人の割合に対して、平成29年度から令和5年度の7年間の山梨県観光客入込統計調査結果の平均から県民の数を算出する。

まず、表 3.7-13 に過年度調査において分析された日本人と外国人の想定需要をまとめる。

表 3.7-13 日本人と外国人の需要想定

No	日本人/外国人	訪問先	需要(人/年)
A-1	日本人(春～秋)	五合目来訪者	616,500
A-2	外国人(春～秋期)	五合目来訪者	1,015,170
B	日本人(春～秋)	周辺地域来訪者	50,000
B	外国人(春～秋期)	周辺地域来訪者	50,000
C	日本人(春～秋)	非来訪者	370,800
D-1	日本人(冬)	五合目来訪者	518,750
D-2	日本人(冬)	五合目来訪者	99,600
D-2	外国人(冬)	五合目来訪者	414,800
E	日本人(冬)	周辺地域来訪者	1,500
E	外国人(冬)	周辺地域来訪者	1,500
F	日本人(冬)	非来訪者	4,345
F	外国人(冬)	非来訪者	4,345
日本人合計			1,661,495
外国人合計			1,485,815
合計			3,147,310

出典：過年度調査をもとに受託者作成

山梨県観光客入込統計調査結果を表 3.7-14 にまとめる。直近 7 年間の平均では、県外が 76.3%、県内が 23.7%となる。

表 3.7-14 県外と県内の実入数とその割合

	県外客実入数	県外割合	県内客実入数	県内割合
R5 年度	19,877 千人	77%	5,877 千人	23%
R4 年度	22,329 千人	82%	5,055 千人	18%
R3 年度	13,394 千人	73%	4,985 千人	27%
R2 年度	12,052 千人	71%	4,831 千人	29%
R 元年度	28,615 千人	83%	6,030 千人	17%
H30 年度	27,088 千人	72%	10,599 千人	28%
H29 年度	24,759 千人	77%	7,403 千人	23%
平均		76%		24%

出典：「平成 29 年度から令和 5 年度の山梨県観光客入込統計調査結果」をもとに受託者作成

この県内割合を表 3.7-13 でまとめた日本人の人数に乗じることで、県民とそれ以外の人数を推計する。その結果を表 3.7-15 にまとめる。

表 3.7-15 外国人、日本人の県外および県内の想定需要とその割合

	年間需要(人)	割合
外国人	1,485,815	47.2%
日本人 (県外)	917,093	29.1%
日本人 (県内)	744,402	23.7%
全体	3,147,310	

出典：受託者

さらに、想定需要は丸めて 300 万人という想定で過年度調査において進められているため、それぞれの割合を保持したまま 300 万人に調整する。ここでは、県民割および通常運賃の二種類に分けて表 3.7-16 に推計結果を示す。

表 3.7-16 通常運賃および県民割運賃の想定需要と割合

	年間需要(人)	割合
通常運賃	2,290,440	76.3%
県民割運賃	709,560	23.7%
全体	3,000,000	

出典：受託者

(2) 運賃外収入

民間事業者の運賃外収入は過年度調査において想定されている、運賃収入の 5.07%とする。これは、箱根登山鉄道の実績から引用しており、適切な想定割合と考える。

(3) 民間事業者の出資割合

民間事業者の出資割合は、過年度調査において想定されている 20%とする。

(4) その他想定

3.6.3 節で示した通り、建設にかかる国庫補助金を受領できる可能性がある。未確定事項が多いため、本調査においては、補助金は考慮せずに分析を行う。

(5) 分析ケース

収支分析は表 3.7-17 に示す 12 ケースを行う。上述した通り、運賃は全ケース 1 万円とする。運賃から直接控除する金額はケース 1 および 4 では便宜的に 2,500 円、ケース 2,3 では総括原価方式により、必要経費に適正な利潤を加味し、国に納める消費税を考慮した場合に直接控除が可能な最大の金額となる 4,500 円を控除する。詳細は 4 章に記述する。県民割については、(1)で上述した通り、ケース 3 および 4 を県民無料にした場合を分析する。

表 3.7-17 収支分析ケース

	LRT	誘導系	EV バス	備考
ケース 1	ケース 1-1	ケース 1-2	ケース 1-3	運賃 1 万円、運賃から直接控除 2,500 円、県民割無し
ケース 2	ケース 2-1	ケース 2-2	ケース 2-3	運賃 1 万円、運賃から直接控除 4,500 円、県民割無し
ケース 3	ケース 3-1	ケース 3-2	ケース 3-3	運賃 1 万円、運賃から直接控除 4,500 円、県民割あり
ケース 4	ケース 4-1	ケース 4-2	ケース 4-3	運賃 1 万円、運賃から直接控除 2,500 円、県民割あり

出典：受託者

(6) 基本的な考え方

本節で示す収支結果は、官民のデマケによらず事業全体の整備費と収入を評価することとする。過年度調査においても、鉄軌道事業者が整備に必要な建設費及び設備更新費を負担し、収入を得て経費を負担する前提となっている。本調査においても、同様の考え方で収支分析を進める。

3.7.6. 収支計算結果

各ケースの収支計算結果のまとめを表 3.7-18 にまとめる。

表 3.7-18 全ケースの収支分析結果まとめ

	累積損益（合計）	単年度黒字転換年	累計黒字転換年
ケース 1-1	2,338 億円	1 年目	3 年目
ケース 1-2	2,538 億円	1 年目	1 年目
ケース 1-3	2,645 億円	1 年目	1 年目
ケース 2-1	1,410 億円	1 年目	7 年目
ケース 2-2	1,617 億円	1 年目	2 年目
ケース 2-3	1,725 億円	1 年目	2 年目
ケース 3-1	582 億円	5 年目	18 年目
ケース 3-2	851 億円	1 年目	5 年目
ケース 3-3	962 億円	1 年目	3 年目
ケース 4-1	1,549 億円	1 年目	6 年目
ケース 4-2	1,746 億円	1 年目	2 年目
ケース 4-3	1,857 億円	1 年目	2 年目

出典：受託者

3.8. メーカーや研究機関へのヒアリングを通じた開発可能性調査

3.8.1. ヒアリングの実施

本業務で検討する富士トラムの車両の開発及び製造可能性について検討を行うため、車両メーカーを中心に、民間企業へのヒアリングを実施した。ヒアリング先の選定にあたっては、車両新造の実績を有する企業のほか、本検討では自動運転機能や、水素などの新エネルギーの活用を考慮することから、自動運転技術や水素エネルギーの利用など要素技術を有する企業、さらに、これらの要素を車両として組み立てるにあたり求められる車両艤装の技術を有する企業を選定した。ヒアリング先は次のとおりである。

表 3.8-1 ヒアリング実施先

企業の分野	訪問社数
鉄道車両・自動車の製造を行う企業	4社
車両の艤装・改造を行う企業	1社
自動運転技術の開発等を行う企業	1社
自動運転を支援する装置の製造を行う企業	1社

出典：受託者

3.8.2. 追加ヒアリングの実施

富士トラムの検討にあたっては、ARTの導入に向けた検討を深度化すること、車両や要素技術の国産化にあたっての課題検討を行うこととなったため、以下のメーカーおよび、同様に新たな交通の導入の検討を行っている自治体に対してヒアリングを実施した。

表 3.8-2 追加ヒアリング実施先

企業の分野	訪問社数 (紙面調査を含む)
鉄道車両・自動車の製造を行う企業	2社
自動運転技術の開発等を行う企業	1社
鉄道車両・自動車のタイヤの製造を行う企業	1社
鉄道車両用電機品の製造を行う企業	2社
法制度面に知見を有する独立行政法人	1者
類似の計画を有する地方公共団体	1市

出典：受託者

3.8.3. ヒアリングまとめ

以上のヒアリングから、磁気マーカ等の一部の要素技術については、すでに実用化の段階に到達しているほか、自動運転技術の導入、前後双方向運転が可能な構造、タイヤ等の消耗品の確保といった要素技術は国内メーカ等で技術的には調達可能性があることを確認した。

一方で、車両の新造については、富士山特有の線形（曲線や勾配）や厳しい気象条件による技術的課題があることや、新交通等で活用されているタイヤなどの消耗品との共通化を行うには車両の規格等の課題があることを確認した。

また、現在の検討では、車両の製造台数などの詳細条件が固まっていないこともあり、車両や各部品・要素の技術を有するメーカがシステム開発等の事業参画の判断等を行うには難しい状況があり、引き続き与条件の整理を進めていくことが必要であると考えられる。

その他開業時の車両製造だけでなく、永続的な経営を行うためには、日常の点検時や車両の更新（老朽化による取り換え）時までをトータルで考慮する必要性がヒアリング先より指摘された。その背景として、我が国においては、2024年4月にスカイレールサービス（丘陵地のアクセス交通として広島市で導入されていた世界でも唯一の種類の新交通システム）が運行終了になったように、車両製造数が少なく他に普及しなかった路線では、事業の終了や、システムの変更を検討している事例がある。

そのため、車両の全部または一部を国産化する場合においては、同様に中量輸送を検討している地域とともに車両や設備の仕様の共通化を図ることや、AGTやLRTなど類似のシステムと部品の共通化を図る等の工夫が必要と考えられる。

さらに、法制度の側面からも実用化までに一定の期間を要するとみられ、リニア中央新幹線山梨県駅の開業時までの富士トラム開業を整合させるためには、早期に車両仕様を固め、開業に向けた関係機関との協議に備える必要がある。

3.9. 新たな交通システムの比較・評価

3.9.1. 評価項目および評価内容

本節では、第三章でまとめた各交通システムについて評価を行う。評価を行うのは、一次スクリーニングで本事業の前提条件に合致する電動バス、白線読み取り誘導式システム、磁気マーカ誘導式システム、LRT、案内軌条式ゴムタイヤ交通システムの五つの交通システムとする。

評価の項目については、過年度までおよび本年度の検討結果も踏まえ、富士山の新たな交通システム導入において特に重要と考えられる以下の9つの項目で評価を行う。

- 輸送力・居住性・快適性
- 安全性
- 導入費用
- 維持管理費用
- 拡張性
- 速達性
- 省人力化
- 来訪者コントロール
- 観光ツールとしての魅力

3.9.2. 評価結果

評価結果を表 3.9-1 にまとめる。この結果から、欠点が少なく優れた点が多い白線読み取り誘導式システムもしくは磁気マーカ誘導式システムが最適と考えられる。上述した通り、白線と磁気マーカの読み取りの相違に関しては今後の議論が必要ではあるが、様々な技術を組み合わせて車両を誘導する事が可能であるため、これらを組み合わせることも可能である。

表 3.9-1 評価結果

評価項目	LRT	中央案内軌条	磁気誘導	白線誘導	バス
輸送力・居住性・快適性	ゆとりある座席配置が可能。1 編成連結あたりの輸送力が高い (120 座席/2 編成連結、124m ²)				LRT と同程度の居住性の場合輸送力が劣る。もしくはその逆 (20 座席/両、38m ²)
安全性	急勾配・急曲線でも安全性に問題は無い	レールで誘導されるため運転手の技量に左右されず安全性が高い	磁気や白線に加え、LiDAR や GNSS、機械学習とも組合わせて走行するため、運転手の技量に左右されず安全性が高い。		運転手の技量による。輸送本数が増えると事故の可能性が高まる
導入費用	1,340 億円	LRT と同程度か若干安い (レールが一本のため)	618 億円 編成あたりの車両数を削減することでの圧縮も可能		466 億円
運営・維持管理費用*	104 億円		88 億円		81 億円
拡張性	軌道の敷設が必要		道路に磁気マーカ/白線を設ければ富士スバルライン以外でも走行可		道路上を自由に走行可
速達性	鉄輪のため急曲線急勾配では速度が出にくい	ゴム車輪のため鉄車輪に比べ速度制御が容易			
省人力化	基本的には自動運転のため省人化できる。1 編成連結あたりの輸送力も高いため運行本数が少ない				多数の運転手確保が必要、運行本数も多い
来訪者コントロール	中央制御により、事業者が運行本数・頻度を決定でき、来訪者をコントロール可能。軌道法の適用可能性あり。				特定のバスのみを運行させることはできず来訪者コントロール不可
観光ツールとしての魅力	日本で新規 LRT としては宇都宮に次ぐ新しいシステム	日本には存在しないシステム (海外では社会実装済み)			連節バスは先行事例多数。隊列は実験のみで国内外の社会実装無し

*維持管理費用はケース 2 における 5 年目の営業費用の金額

出典：受託者

3.10. 富士トラムの国内導入に向けた技術的・法的面での課題整理

前節までは、磁気マーカ誘導式システムと白線読み取り誘導式システムを別々に評価してきた。上記の二つのシステムにおいては、多くの点が共通するため、「誘導系」とまとめてきたが、本節以降は両者のいずれかもしくは両方を組み合わせたシステムの導入を想定した上で、山梨県が正式に公表している「富士トラム」と呼ぶことにする。以下に、富士トラム導入に向けた法的面での課題と技術面での課題をまとめる。

3.10.1. 法的面での課題整理

(1) 軌道法に対する課題

富士スバルライン上の導入にあたっては軌道法の適用を念頭においているが、以下のような課題が考えられる。

1) 軌道法の適用の可能性について

車両が常に導かれる形態でない場合は、軌道法が適用されない可能性があるため、軌道法の適用に向けては車両を含めたシステム全体の性質及び取扱いを踏まえて更なる検討が必要である。

2) 磁気マーカや白線による誘導について

富士トラムでは、磁気マーカまたは白線によって車両を誘導することを検討している。これまでの国内での鉄軌道事業の事例においては、愛知万博の開催時に IMTS が導入された際に磁気マーカが活用された事例があるが、白線により誘導を行う鉄軌道事業の事例はない。

また、本検討では軌道法の適用可能性について検討をおこなっているが、軌道法や軌道建設規程、その他軌道法関連の規定に磁気マーカや白線誘導に関する定めがない。

鉄道事業においては、IMTS の導入に際し、特殊鉄道に関する技術上の基準を定める告示が改正され、「磁気誘導式鉄道」が定められた。あわせて定められた特殊鉄道に関する技術上の基準を定める告示の解釈基準では、敷設間隔など地上設備の基準や車両の機能等について定められている。

磁気マーカによる車両誘導について軌道法での適応については、①軌道法施行規則第 8 条、第 9 条に記載内容の規定がない項目については、軌道法施行規則第 9 条第 1 項第 19 号の「特殊設計」として認可申請や②軌道建設規程第 34 条の 2 項の特別ノ事由アル場合ニ於テハ国土交通大臣ノ認可ヲ受ケ前各条ニ規定スル設計ニ依ラサルコトヲ得による特別設計の認可申請等による個別審査を受け認可を受ける必要がある。

白線による車両の誘導については、軌道法の技術基準の定めがないことから、これまでに定めのない新たな要素技術部分については、軌道法の適用に向けた様々な検討が必要である。

(2) 道路運送法に対する課題

1) 車両諸元に関する課題

中央新幹線山梨県駅（仮称）への延伸区間には道路運送法に基づく道路運送事業としての運営が考えられる。

道路上を走行する車両に対しては、車両制限令（道路法）、道路交通法施行令（道路交通法）、道路運送車両の保安基準（道路運送車両法）の三つの制限が存在し、それぞれに対応する必要がある。なお、三つの制限ではそれぞれ法益が異なり許可権者が異なっている。

表 3.10-1 車両に対する制限と主な項目の例

車両に対する制限	車両制限令	道路交通法施行令	道路運送車両の保安基準
根拠法	道路法	道路交通法	道路運送車両法
主務官庁	国土交通省道路局	警察庁	国土交通省物流・自動車局
長さ・高さ	人や貨物を積載した状態で、長さ 12m、高さ 3.8m（ただし「高さ指定道路」では 4.1m まで可）	車両長そのものの規定は無いが、積載物は、車両長の 120% まで 高さは 3.8m（ただし「高さ指定道路」では 4.1m まで可）	積載物の状態は問わず、長さ 12m、高さ 3.8m
幅員	人や貨物を積載した状態で幅員 2.5m	幅員そのものの規定はないが、積載物は車両幅員の 120% まで	積載物の状態は問わず、幅員 2.5m まで
重量	総重量	20 トン（ただし、高速自動車国道および「重さ指定道路」では 25 トン）	総重量 25 トン（車両の最遠軸距 7 メートル以上の場合）
	軸重	軸重 10 トン 等	軸重 10 トン 等

出典：「特殊車両通行ハンドブック（国土交通省）」²⁴をもとに受託者加筆

富士トラムの車両は、車両幅員約 2.6m、全長約 30m となっており、いずれにも適合しない。

このように、車両の長さや高さといった基準のいずれか一項目以上に適合しない車両を「特殊な車両」として取り扱われ、これらの車両の走行については、以下の二種の手続きが必要となる。

²⁴ https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000783880.pdf

表 3.10-2 基準を超える車両の走行に必要な手続き

道路法に関する手続き	・道路法第 47 条の 2 に基づく限度超過車両の通行許可
道路運送車両法に関する手続き	・道路運送車両の保安基準第 55 条に基づく基準緩和の認定 ・輸入車の場合は、並行輸入自動車の申請

出典：受託者

この二種類の手続きに向けた各機関（警察、道路管理者、各運輸局）との協議については、順序が定められているものではなく、相互の協議熟度が考慮されることから、並行して進める必要がある。さらに通常の連節バスの導入と異なり、車両幅員が規定を超過していることによる道路空間への影響度合いなども、協議時に考慮する必要がある。

A) 道路法に関する手続き

道路の構造を守り、交通の危険を防止する観点から、道路法では車両の大きさや重量に関する制限値を定めている。（道路法第 47 条第 1 項、車両制限令第 3 条）

この制限値を超過する車両を通行させようとする場合、道路管理者に対し、特殊車両通行許可を得る必要がある。（道路法第 47 条の 2）申請にあたっては、車両内訳書（二台以上の車両を申請する場合）、車両諸元に関する説明書、運行経路図（軌跡図を含む）、自動車検査証の写し、その他道路管理者から求められた書類の作成が求められる。

なお、「その他道路管理者から求められる書類」とは、車両の構造の特殊性について記載した理由書、申請車両の通行時間、誘導方法、退避場所の位置等を記載した通行計画書、その他所轄警察署との打合せ記録を指す。

旅客自動車運送事業として路線を定めて運行する車両に対する許可の期間は二年間となる。

（参考）「連節バス導入ガイドライン ver.1」（平成 26 年、国土交通省自動車局）²⁵

道路法

第 47 条 道路の構造を保全し、又は交通の危険を防止するため、道路との関係において必要とされる車両（人が乗車し、又は貨物が積載されている場合にあつてはその状態におけるものをいい、他の車両を牽引している場合にあつては当該牽引されている車両を含む。第四十七条の五第三号及び第四十七条の六第一項第一号を除き、以下この節及び第八章において同じ。）の幅、重量、高さ、長さ及び最小回転半径の最高限度は、政令で定める。

2 車両でその幅、重量、高さ、長さ又は最小回転半径が前項の政令で定める最高限度をこえるものは、道路を通行させてはならない。

3 道路管理者は、道路の構造を保全し、又は交通の危険を防止するため必要があると認めるときは、トンネル、橋、高架の道路その他これらに類する構造の道路について、車両でその重量又は高さが構造計算その他の計算又は試験によつて安全であると認められる限度をこえるものの通行を禁止し、又は制限することができる。

4 前三項に規定するもののほか、道路の構造を保全し、又は交通の危険を防止するため、道路との関係において必要とされる車両についての制限に関する基準は、政令で定める。

第 47 条の 2 道路管理者は、車両の構造又は車両に積載する貨物が特殊であるためやむを得ないと認めるときは、前条第二項の規定又は同条第三項の規定による禁止若しくは制限にかかわらず、当該車両を通行させようとする者の申請に基づいて、通行経路、通行時間等について、道路の構造を保全し、又は交通の危険を防止するため必要な条件を付して、同条第一項の政令で定め

²⁵ https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr7_000009.html

る最高限度又は同条第三項に規定する限度を超える車両（以下「限度超過車両」という。）の通行を許可することができる。

- 2 前項の申請が道路管理者を異にする二以上の道路に係るものであるとき（国土交通省令で定める場合を除く。）は、同項の許可に関する権限は、政令で定めるところにより、一の道路の道路管理者が行うものとする。この場合において、当該一の道路の道路管理者が同項の許可をしようとするときは、他の道路の道路管理者に協議し、その同意を得なければならない。
- 3 前項の規定により二以上の道路について一の道路の道路管理者が行う第一項の許可を受けようとする者は、手数料を道路管理者（当該許可に関する権限を行う者が国土交通大臣である場合にあつては、国）に納めなければならない。
- 4 前項の手数料の額は、実費を勘案して、当該許可に関する権限を行う者が国土交通大臣である場合にあつては政令で、その他の者である場合にあつては当該道路管理者である地方公共団体の条例で定める。
- 5 道路管理者は、第一項の許可をしたときは、許可証を交付しなければならない。
- 6 前項の規定により許可証の交付を受けた者は、当該許可に係る通行中、当該許可証を当該車両に備え付けていなければならない。
- 7 第一項の許可の申請の方法、第五項の許可証の様式その他第一項の許可の手続について必要な事項は、国土交通省令で定める。

車両制限令

第3条 法第四十七条第一項の車両の幅、重量、高さ、長さ及び最小回転半径の最高限度は、次のとおりとする。

- 一 幅 二・五メートル
- 二 重量 次に掲げる値
 - イ 総重量 高速自動車国道又は道路管理者が道路の構造の保全及び交通の危険の防止上支障がないと認めて指定した道路を通行する車両にあつては二十五トン以下で車両の長さ及び軸距に応じて当該車両の通行により道路に生ずる応力を勘案して国土交通省令で定める値、その他の道路を通行する車両にあつては二十トン
 - ロ 軸重 十トン
- ハ 隣り合う車軸に係る軸重の合計 隣り合う車軸に係る軸距が一・八メートル未満である場合にあつては十八トン（隣り合う車軸に係る軸距が一・三メートル以上であり、かつ、当該隣り合う車軸に係る軸重がいずれも九・五トン以下である場合にあつては、十九トン）、一・八メートル以上である場合にあつては二十トン
- ニ 輪荷重 五トン
- 三 高さ 道路管理者が道路の構造の保全及び交通の危険の防止上支障がないと認めて指定した道路を通行する車両にあつては四・一メートル、その他の道路を通行する車両にあつては三・八メートル
- 四 長さ 十二メートル
- 五 最小回転半径 車両の最外側のわだちについて十二メートル

B) 道路運送車両法に関する手続き

自動車は、道路運送車両の保安基準（以下、保安基準）に適合し、国が行う検査（いわゆる車検）に合格する必要がある。保安基準は73条からなり、車両長や幅員といった外形の規格のほか、騒音や排煙といった環境基準、灯火やワイパー、シートベルトといった装置に関する基準が盛り込まれている。

保安基準に適合しない車両を走行させようとする場合には、保安基準第55条により、保安基準の緩和認定を受ける必要がある。

「基準緩和自動車の認定要領について（依命通達）」（平成9年9月19日付け自技第193号（最終改正令和5年3月31日付国自技環第205号）別添基準緩和自動車の認定要領の第3に基準緩和の認定を申請することができる自動車の一覧が明示されており、この自動車の一覧は、社会情勢などを踏まえ適宜改定されている。

この一覧のいずれにも当てはまらない場合は、第26項で「(26) 前各号に掲げるほ

か、構造又は使用の態様が特殊であることにより、保安基準の適用を除外せざるを得ないと認められる事由があると判断される自動車」と掲げられており、富士トラムの車両もこの項目に基づき保安基準の緩和に向けた協議が必要になると考えられる。

道路運送車両の保安基準

- 第 55 条 地方運輸局長が、その構造により若しくはその使用の態様が特殊であることにより保安上及び公害防止上支障がないと認定した自動車については、本章の規定及びこれに基づく告示であつて当該自動車について適用しなくても保安上及び公害防止上支障がないものとして国土交通大臣が告示で定めるもののうち、地方運輸局長が当該自動車ごとに指定したものは、適用しない。
- 2 前項の認定は、条件若しくは期限又は認定に係る自動車の運行のため必要な保安上若しくは公害防止上の制限を付して行うことができる。
 - 3 第 1 項の認定を受けようとする者は、次に掲げる事項を記載した申請書を地方運輸局長に提出しなければならない。
 - 一 氏名又は名称及び住所
 - 二 車名及び型式
 - 三 種別及び用途
 - 四 車体の形状
 - 五 車台番号
 - 六 使用の本拠の位置
 - 七 構造又は使用の態様の特殊性
 - 八 認定により適用を除外する規定
 - 九 認定を必要とする理由
 - 4 前項の申請書には、同項第 8 号に掲げる規定を適用しない場合においても保安上及び公害防止上支障がないことを証する書面を添付しなければならない。
 - 5 地方運輸局長は、第 3 項の申請者に対し、前 2 項に規定するもののほか、第 3 項第 9 号の事項として同項の申請書に記載した輸送の必要性を示す書面その他必要な書面の提出を求めることができる。
(後略)

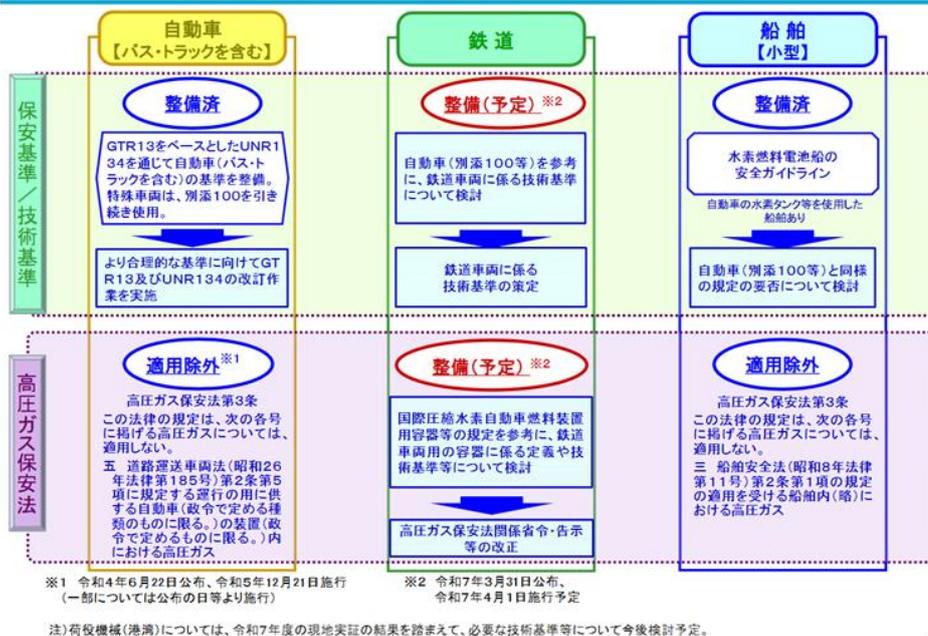
2) 磁気マーカに関する課題

道路運送事業法においては、令和 2 年の道路法改正にともない、磁気マーカ等の自動運転車の運行を補助する施設が道路付属物（道路管理者以外が設置する場合は道路占用物件）として位置づけられ、路線バスの自動運転を補助する施設としての磁気マーカは導入事例がある。

(3) 水素を取り扱う場合の法的課題

モビリティへの水素エネルギーの活用については、国土交通省が検討会を設け、車両に対する技術基準および高圧ガス保安法両面から制度検討を行っている。

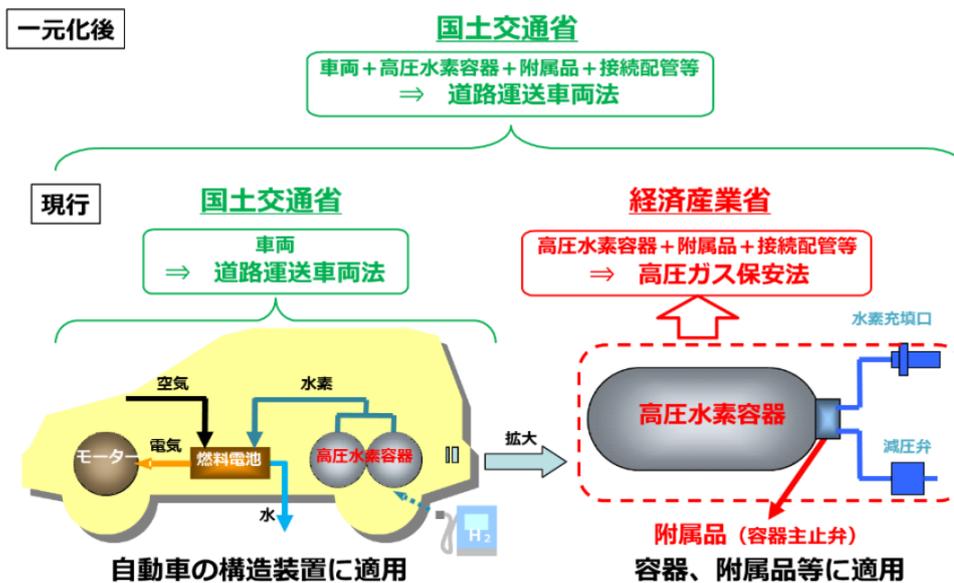
バスやトラックなどの自動車については、従来は、高圧水素容器の取扱については高圧ガス保安法（昭和 26 年法律第 204 号）により規制されていた。そのため、自動車に積載される水素タンクは高圧ガス保安法に基づき規制を受けており、車両の製造にあたっては道路運送車両法と高圧ガス保安法の双方に基づいた検査や手続きに対応する必要があった。そのため、検査の一元化を目的として、自動車点検基準等の一部を改正する省令および道路運送車両の保安基準の細目を定める告示等の一部を改正する告示が令和 5 年 12 月 21 日に施行され、水素タンクを搭載した車両であっても道路運送車両法の体系下において試験を行うことができるようになった。



4

出典：国土交通省 HP²⁶

図 3.10-1 モビリティへの水素利用に関する検討状況



出典：国土交通省 HP²⁷

図 3.10-2 高圧法の高圧ガス容器・附属品に係る技術基準の一元化

²⁶ 令和6年度 運輸分野における水素、燃料電池等の利活用の拡大を目指した技術検討会

https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/safety/sosei_safety_tk2_000042.html

²⁷ 令和5年10月20日報道発表

<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/safety/content/001729805.pdf>

鉄道車両については、国土交通省鉄道局および公益財団法人鉄道総合技術研究所を事務局とした「水素燃料電池鉄道車両等の安全性検証検討会」が令和6年4月に開催され、令和6年11月に開催された第6回安全性検証検討会で技術基準案等を取りまとめた。検討会のなかで、水素エネルギーの活用に関するリスクアセスメントや技術指針案の作成が行われた。検討結果は、鉄道に関する技術上の基準を定める省令第68条（動力発生装置等に関する規制）に圧縮水素を燃料とする車両の燃料電池等の構造についての規定の追加、また具体的な基準たる「圧縮水素を燃料とする水素鉄道車両の燃料電池等の技術上の基準を定める告示」として反映される予定で、これらの省令・告示の案に対するパブリックコメントが実施された。令和7年3月時点では意見募集は締め切られており、省令・告示ともに令和7年4月に施行予定である。²⁸

Ⅲ. 技術基準案 (2)-1 技術基準案

○ 11項目のリスク低減策から、水素燃料電池鉄道車両が安全に運行するために必要な技術基準案を以下のとおり定める。

	11項目のリスク低減策	技術基準案
①	水素ガス漏洩検知装置	水素ガス容器や配管等から水素ガスが漏洩したことを検知する装置を設けること
②	圧力検知装置	水素ガス容器や配管等の内圧を検知する装置を設けること
③	インターロック機構	水素の漏洩がなく、圧力が正常であること等の確認ができていない時にガス供給ができる機構
④	主止弁	水素漏洩検知装置や圧力検知装置で異常が認められた時は、水素ガス容器からの水素供給を遮断する弁を設けること
⑤	容器逆止弁	水素ガス容器から充填口への水素ガスの逆流を防止する弁を設けること
⑥	容器安全弁	水素ガス容器の温度が異常に上昇した場合に水素ガスを放出する弁を設けること
⑦	過流防止弁	水素ガスの流量が異常に上昇した場合に、自動的に水素ガスを遮断または流量を制限する弁を設けること
⑧	水素供給用安全弁	水素ガスを燃料電池に供給するにあたり、減圧弁二次側の圧力が著しく上昇することを防止する弁を設けること
⑨	水素ガス容器の覆い	水素ガス容器が損傷するおそれがある部分は、適当な覆いで保護されること
⑩	水素ガスが滞留しない構造	水素ガス容器や配管等は、車体外と通気が十分な場所に取り付けられていること
⑪	高圧配管等の台枠の内側設置	水素ガスの高圧配管等は、外部からの衝撃等を直接受けない台枠の内側に設けること

国土交通省 JR 公益財団法人 鉄道総合技術研究所 13

Ⅲ. 技術基準案 (2)-2 技術基準案

○ 11項目のリスク低減策から提案した技術基準案に加えて、これらを導くリスクアセスメントの過程で、水素燃料電池鉄道車両を安全に運行するために、併せて整備される技術基準案は以下のとおり。

	リスク低減策と併せて整備される項目	技術基準案
①	水素ガス充填口	水素ガスの充填口は、水素ガスが容易に充填できかつ、外部からの衝撃を直接受けやすい鉄道車両の前面や妻部を除いた箇所に設けること
②	各種警報装置	水素ガスの漏洩や、圧力異常等を検知して、乗務員に知らせる装置を設けること
③	振動試験	水素ガス容器、その付属品及び配管等は、普通鉄道車両と同様に、鉄道の走行時等に発生する振動に耐える構造とし、規格に適合するもの又はこれと同等以上の性能であることを確認すること

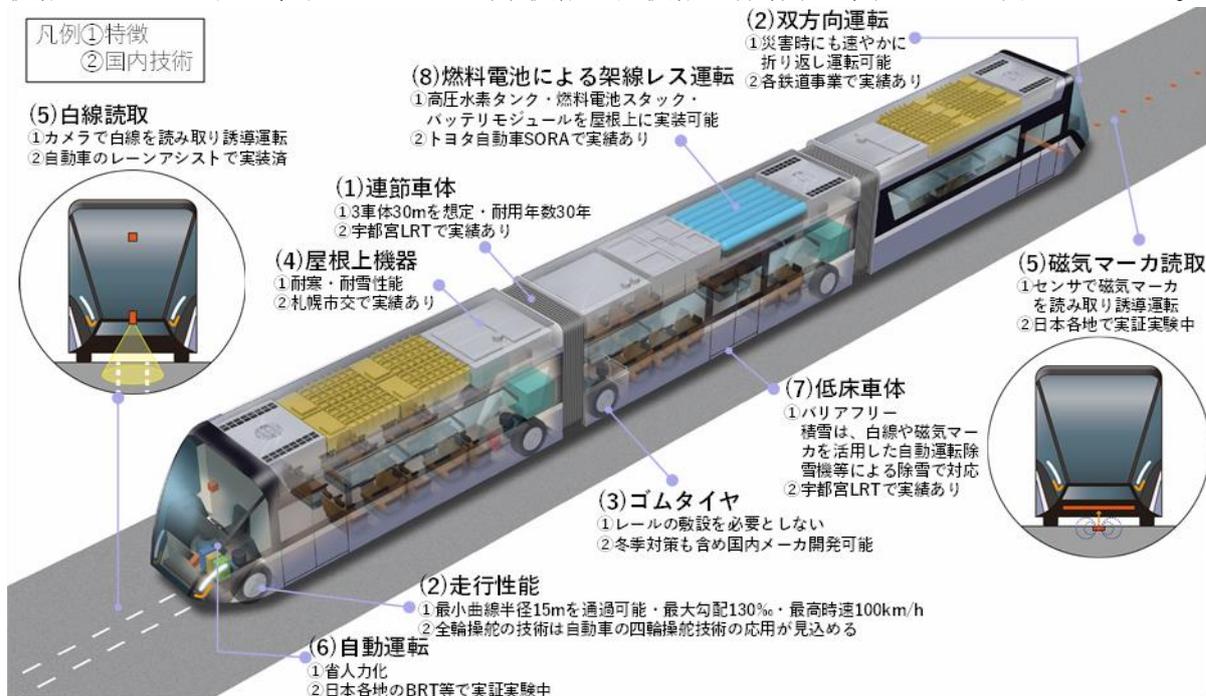
出典：国土交通省パブリックコメント

図 3.10-7 技術基準案 パブリックコメント参考資料より

²⁸ 「鉄道に関する技術上の基準を定める省令の一部を改正する省令案」、「圧縮水素を燃料とする水素鉄道車両の燃料電池等の技術上の基準を定める告示案（仮称）」に関する意見の募集について <https://public-comment.e-gov.go.jp/pcm/detail?CLASSNAME=PCMMSTDETAIL&id=155250802&Mode=0>

3.10.2. 技術面での課題整理

富士トラムで想定する仕様は様々な要素技術から構成されている。図 3.10-3 にその要素技術をまとめた図を、表 3.10-3 に要素技術と同技術を保有する国内メーカー例をまとめる。



出典：受託者

図 3.10-3 国産化が可能な要素技術全体図

表 3.10-3 富士トラム構成に必要な要素技術

要素技術	技術保有メーカー例
(1) 連節車体	新潟トランスス、いすゞ自動車、三菱重工業、日本車輛等
(2) 双方方向運転・曲線通過性能向上	新潟トランスス、三菱重工業、日本車輛、日産自動車、トヨタ自動車等
(3) ゴムタイヤ	台車は新潟トランスス、三菱重工業等、 タイヤはブリヂストン等 電機品は三菱電機、東洋電機製造、日立製作所、東芝等
(4) 機器	電機品は三菱電機、東洋電機製造、日立製作所、東芝等 トヨタ自動車等
(5) 白線読み取りまたは磁気マーカによる誘導	マーカ・センサは愛知製鋼 前進制御は先進モビリティ、トヨタ自動車等
(6) 自動運転	先進モビリティ等
(7) 低床車体	新潟トランスス等
(8) 燃料電池および蓄電池による架線レス運転	トヨタ自動車、いすゞ自動車、三菱電機、ホンダ等
(9) 連結運転	先進モビリティ

出典：受託者

報告書執筆時点では全ての要素技術を取りまとめて製品とした国内メーカーは無い。そのため、早期の富士トラム構想実現に際しては、国内での十分な安全性確認を実施する前提で、既に自国等での営業走行を実施している海外メーカーからの技術導入の可能性もある。他方で、各要素技術は我が国で有する既存の技術を活用できると考えられる。以下に、各要素技術における我が国の技術および導入事例をまとめる。

(1) 連節車体による輸送力確保

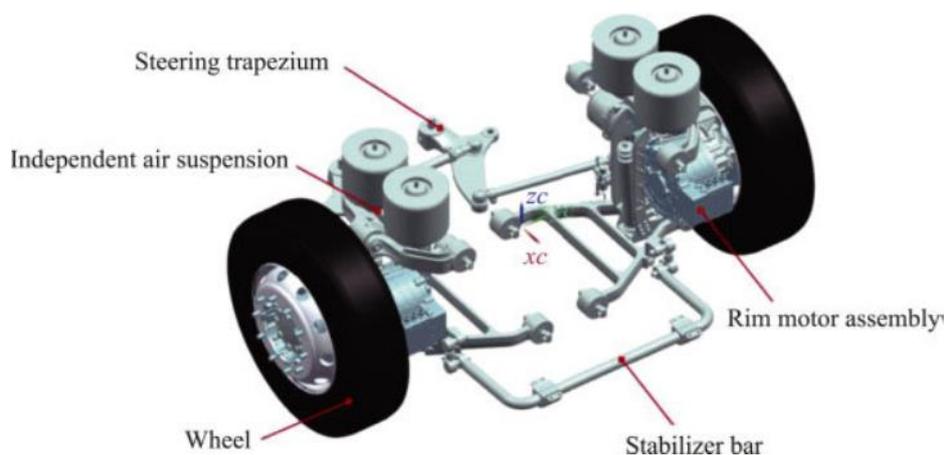
富士トラム車両は三車体連節を一編成とする中量輸送車両を想定している。連節バスについては表 3.3-2 にまとめた通り、国内メーカーも製造している。鉄道系の鉄輪車両の連節車体については、宇都宮ライトレールを走る車両が類似しており、国内メーカーが製造している。このように、富士トラムが目指す連節車体は日本国内ですでに導入済みであり、富士トラムへの適用も技術的に可能である。

(2) 双方向運転・曲線通過性能向上

(7)項で述べているように、低床化のため車軸レスの採用を前提とする。左右の車輪はそれぞれが独立してサスペンションを介して車体の質量を支える。サスペンションは柔構造で、左右で独立して変形することで車体が曲線を通することを可能とする。サスペンションには空気ばねを用いる（図 3.10-4 の Independent air suspension）。

左右の車輪はステアリングのためのリンク機構があり、左右車輪が連動して必要な操舵角度制御される（図 3.10-4 の Steering Trapezium）。

この車輪組と枠によって台車を構成し、台枠部分で車体とピン状の部品で車体と一点接続され台車から車体へのトルクの伝達と、台車として車体から独立した旋回を行う。

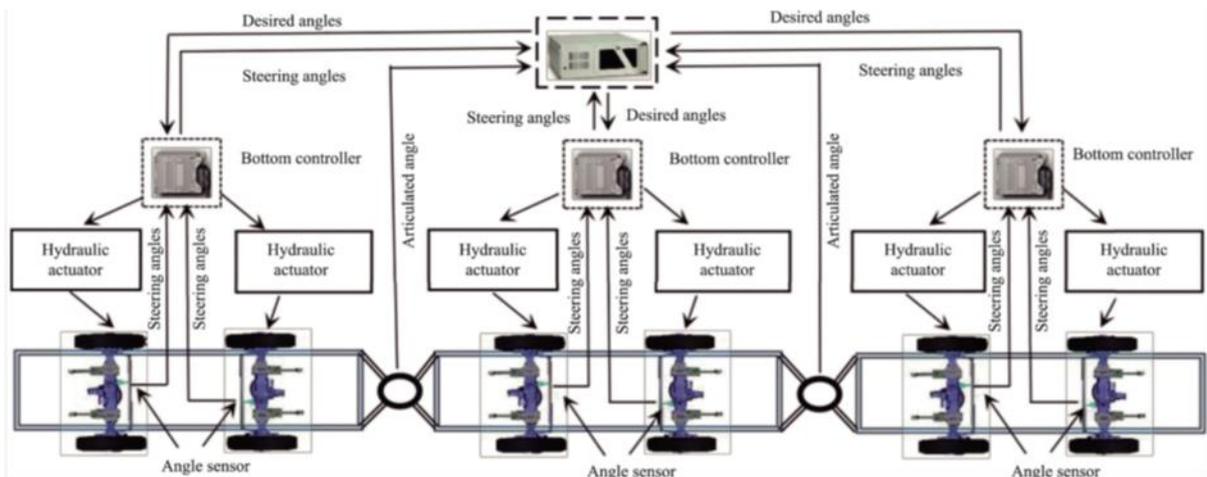


出典 Autonomous-rail rapid transit tram: System architecture, design and applications: “Green Energy and Intelligent Transportation” published on DEC.2024

図 3.10-4 車輪組台車構造の概要図

地上側の曲線は、直線からの接続点において操舵装置を一定速度等なめらかに操作することでトレースできるように曲率を決める緩和曲線が採用される。

地上の緩和曲線含む曲線の中心線にできるだけ近い位置を各車輪組がトレースするためには、時間ごとに変動するその車輪組で異なる曲率に応じた操舵角度を実現する必要があり、そうすることで地上側の曲線の中心線に近い曲線を各軸が通過することが可能となる。そのためには、制御目標である曲率指令値を編成内各軸単位の時々刻々と変わる指令値を演算する中央装置、それを中継する各車両の端末装置、端末装置からの操舵角指令値と、アングルセンサから得た実操舵角を合わせるための油圧アクチュエータとからなる操舵システムが必要となる。下図はその一例である。



出典 Autonomous-rail rapid transit tram: System architecture, design and applications: “Green Energy and Intelligent Transportation” published on DEC.2024

図 3.10-5 操縦システム例

四輪で通過可能曲線半径の低減と四輪操舵の関係は静止状態で検討すると以下のとおりである。

➤ 前輪操舵の場合

外輪の操舵角 θ 、ホイールベース W 、外輪の回転半径 R_o 、トレッド T との間には下記関係式が成り立つ。

$$R_o \cdot \sin(\theta) = W \quad \dots \quad (i)$$

内後輪の半径 R_{ir} は

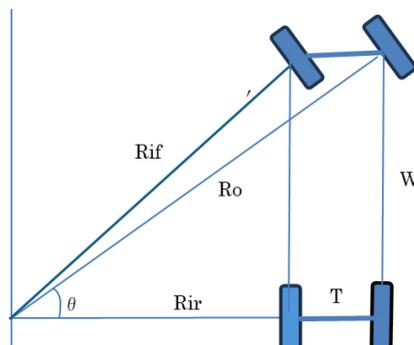
$$R_{ir} = \sqrt{R_o^2 - W^2} - T \quad \dots \quad (ii)$$

内前輪の半径 R_{if} は

$$R_{if} = \sqrt{R_{ir}^2 + W^2} = \sqrt{R_o^2 + T^2 - 2T\sqrt{R_o^2 - W^2}} \quad \dots \quad (iii)$$

よって、内輪差 Δ は以下となる。

$$\Delta = R_{if} - R_{ir} = \sqrt{R_o^2 + 2T\sqrt{R_o^2 - W^2}} - (\sqrt{R_o^2 - W^2} - T) \dots \quad (iv)$$

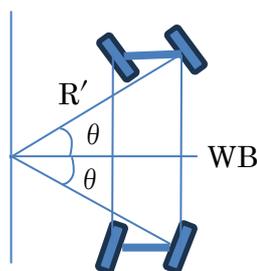


➤ 前後輪操舵の場合

後輪が前輪と同じ操舵角 θ を逆位相で操舵するとすれば回転半径を R' には下記関係が成り立つ。

$$R' \cdot 2\sin(\theta) = WB \dots (ii)$$

また、(i)、(ii)式から $R' = R/2$ となり、同じホイールベースで同一の最大操舵角とすれば前後輪操舵の場合他の制約条件に差がない場合は半分の曲線半径まで通過できる。また下図からわかるように前内輪と後内輪で同一の円周上をトレースできるので、他の制約がなければ内輪差がほとんどなく制御可能である。



仮に $W=9m$ 、最大操舵角 $\pm 12^\circ$ 、トレッド $T=2.5m$ とすれば外輪の通過可能最小曲線 R の理論値は以下の通りとなる。

・一般的なバス (EV、内燃機関問わず)

前輪操舵： $R = WB / \sin(12^\circ) = 43.3m$

その時の内前輪の回転半径 $R_{if} = \sqrt{R_o^2 + 2T\sqrt{R_o^2 - W^2}} = 40.86m$

内後輪の回転半径 $R_{ir} = \sqrt{R_o^2 - W^2} - T = 39.86m$

したがって内輪差 $\Delta = 1.0m$

・富士トラムで想定する車両

前後輪操舵： $R=WB/\sin(12^\circ)/2=21.6\text{m}$

内輪差 $\Delta \approx 0\text{m}$ （前内輪と後内輪の操舵角制御範囲に制約がない場合）

現実には車両の速度、操舵角の制約やゴムタイヤや車輪を支えるサスペンション等のたわみ、路面のカント、凹凸などにより上記数値は変動するが、最小半径 27.5m を 9m クラスの WB がある車両が通過するためには少なくとも前後輪操舵方式の採用が必要である。

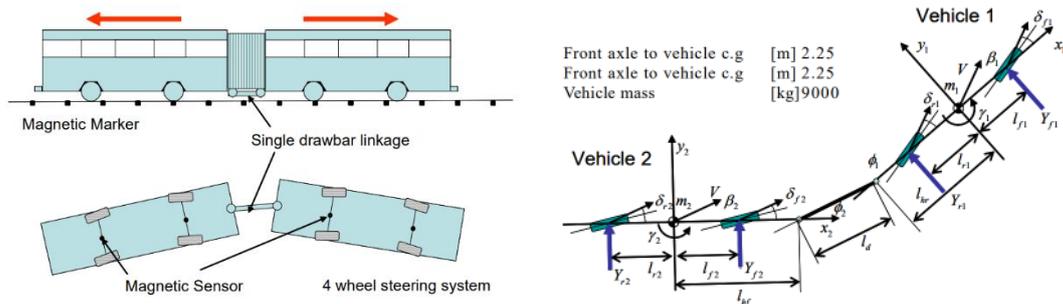
先頭軸だけではなく中間の各軸や逆側の先頭軸にも操舵機構を有することがで、運転台を双方に持たせた逆方向での運転時にも順方向と同様の内輪差がない曲線通過性能を実現できる。カーブでの内輪差想定での道路幅拡張が不要となる。上記の技術的事項について、一車体二軸による四軸操舵機構(4WS・4WAS)としては国内外の一部自動車メーカーからすでに市販されている。表 3.10-4 に対応可能なメーカーと技術の概要をまとめる。

表 3.10-4 対応可能なメーカーと技術の概要

メーカー	名称	メーカー公表資料による概要
日産	4輪アクティブステア (4WAS)	電動アクチュエータ+ECUで車速とステアリング操作速度・角度により4輪に素早い操舵応答性を実現
BMW	インテグレートッドアクティブステアリング	車速 60km/h 以下 前軸と後軸で逆位相に操舵。最小回転半径を低減 車速 60km/h 以上 同位相に操舵。走行安定性向上を実現する
トヨタ	前後輪アクティブステアシステム (レクサスダイナミックハンドリングシステム)	VGRS(バリアブルギヤレシオステアリング)： 車速やハンドルの動きに合わせて、フロントホイールが切れる角度を調整 DRS(ダイナミックリヤステアリング)： ハンドル操作に応じて後輪を切ることにより、車両の旋回性や応答性に寄与

出典：受託者

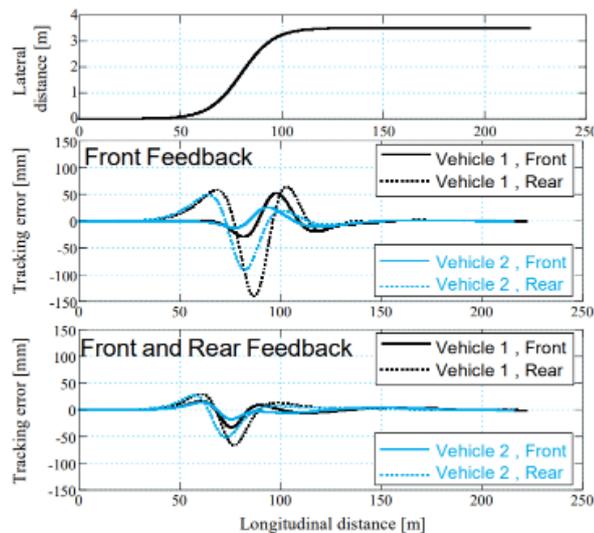
車両が全輪操舵機構を有し、鉄道車両同様に全車軸中心が同一軌跡をたどる同軸走行実現のための基本的なモデル化、制御手法の立案、ミニモデル実験による検証までは国内でいくつか論文として発表されている。「全輪操舵システムを有する連節バスの操舵制御に関する研究」(金子ら、2004年)では、図 3.10-6 に示すような二車体四軸によるシステムを想定してモデル化した上で、模型車両による検証も行っている。



出典：全輪操舵システムを有する連節バスの操舵制御に関する研究(2004年)

図 3.10-6 想定する二車体四輪の車両とその走行モデル

模型実験では、前輪舵角のみにフィードバック制御を適用した場合と前後輪ともに適用した場合について比較を行っている。図 3.10-7 にその結果を示す。この結果から、偏差は抑えられ、高い追従性能を示した。



出典：全輪操舵システムを有する連節バスの操舵制御に関する研究(2004年)

図 3.10-7 シミュレーションの走行結果

実用車両に対して影響するパラメータは、ホイールベース、各軸の車輪の操舵角と操舵速度、曲線通過速度、タイヤのたわみ、空車、積車でたわみの違い、道路のカント、勾配、その変化点や路面の凹凸などにより影響があると考えられる。そのため、実用化のためには今後このシステムを実装した実物大車両の試作、テストコースでの走行、公道での実証試験などの開発ステップが必要である。富士トラムは三車体六軸の車両を想定している。よって、富士トラム車両へ適用する場合には、自動車メーカーがすでに実装している一車体二軸による四輪操舵技術をベースに、上記研究等の連節車両による全輪操舵技術を適用させることが課題である。

(3) ゴムタイヤ

ゴムタイヤの大きなメリットは急勾配に対応できる点である。ゴムタイヤと補装路面との間の摩擦係数は鉄輪とレールの間の摩擦係数に比べて大きいいため、ゴムタイヤシステムは鉄輪システムに比べ 88%程度であれば通常時は運用可能な範囲である。ただし、ゴムタイヤであっても、冬季に発生する雪面や凍結面に対する粘着係数の低下には対策が必要である。車上の対策と地上の対策に大別でき、それらの対策方法と留意点を表 3.10-5 にまとめる。

表 3.10-5 冬季における各種対策方法と留意点

車上・地上	対策方法	留意点
車上	スタッドレスタイヤ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 通年使用による寿命短縮 ・ 季節によりタイヤを履き替えさせる場合、中子タイヤの場合は交換工数が多い
車上	増粘着剤（砂やセラミック）の車輪踏面付近への散布または噴射	<ul style="list-style-type: none"> ・ 環境保全との兼ね合い ・ 散布、噴射のための装置の追加 ・ 砂やセラミックなどの増粘着剤の補給工数の増加
地上	凍結防止剤の散布	<ul style="list-style-type: none"> ・ 環境保全との兼ね合い ・ 散布工数の増加
地上	凍結防止ヒーターの埋設	<ul style="list-style-type: none"> ・ ロードヒーターの埋設工事 ・ 沿線電力供給設備工事が必要 ・ 電気代、メンテナンス費用の増加
専用車両	自走式踏面乾燥車の配備	<ul style="list-style-type: none"> ・ 車両の初期調達と維持コストがかかる ・ 乾燥走行能力は 4m/分程度であり、全線を複線で融雪するには片道 $27.7\text{km} \times 2 \div 4 \div 60 \approx$ 延べ 231 時間必要。n 台でこなすなら $231 \div n$ 時間必要 ・ 現状入手可能な車両には走行と乾燥に化石燃料が必要

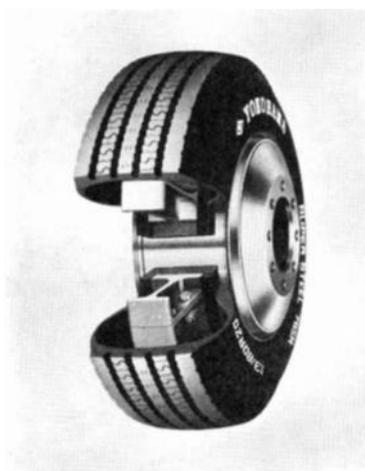
出典：受託者

公共交通機関としてタイヤパンク時に一定程度の距離を走行継続できるランフラット機能が求められる。現在実用化されているランフラット機能を実現する技術を表 3.10-6 にまとめる。

表 3.10-6 実用化されているランフラット機能の特徴

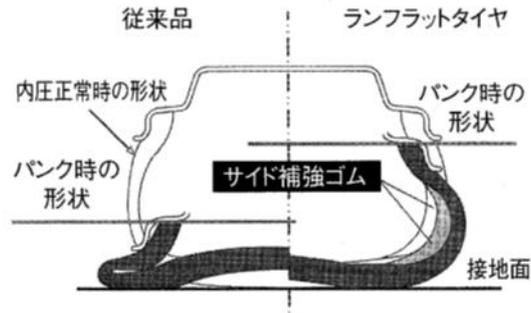
	特徴	利点	欠点
サイド補強タイプ	タイヤのショルダー部の剛性を強化	通常のタイヤと同じホイールが使える	<ul style="list-style-type: none"> ・サイド剛性が高いので乗り心地との両立が難しい ・通常時の柔軟性とパンク走行時の高剛性を両立させたゴムの開発やサスペンションの改良により通常タイヤと遜色ないタイヤの実用化が進みつつある ・大重量用途の開発が必要
中子タイプ	パンク時荷重支持のための剛体をタイヤ内部に配置	新交通システムなど重量車両に対する実績が多い	<ul style="list-style-type: none"> ・質量が重く余計な回転エネルギーが必要 ・タイヤの交換に工数が必要で季節による夏用、冬用の交換は困難
外子タイプ	ホイールの外側に補助リングを取り付け	重量車両への適用が可能 ユーカリが丘線で実績あり	タイヤパンク時は金属の補助リングで重量を支えるため、路面を損傷する可能性がある

出典：受託者



出典 日本複合材料学会誌 第14巻 第4号 (1988)

図 3.10-8 中子タイヤ



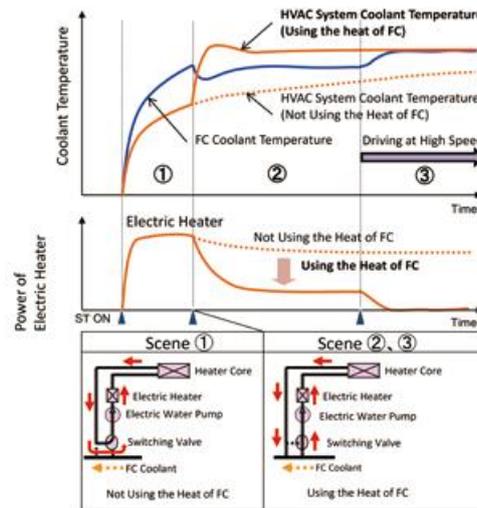
出典 日本機械学会誌 2008.6 Vol.111 No.1075

図 3.10-9 サイド補強式ランフラットタイヤ

(4) 機器

機器全般に求められる性能として、富士山五合目にも耐えうる耐寒・耐雪性能がある。車両の耐寒使用で留意すべき事項は以下の通りである。なお、これらの技術的事項は、北海道等の寒冷地および降雪地域で導入されている車両で実装済みである。

1. 防錆性の強化（融雪剤などの付着に起因する腐食対策）
2. 車内暖房の強化（シートヒーターの容量アップや客室窓の二重窓化など）
3. 機器箱のガスケットの二重化、ガスケット埋め込み部と受け部の額縁構造、防水型カバー掛け金の採用等による防水、防雪性能強化
4. 凍結による接触不良防止のため、機械的な接点を持つ接触器やリレーなどをできるだけ使用しない設計
5. 凍結や雪の挟み込み時のブレーキ性能の確保のため、空気ブレーキにおける摺動面（ブレーキディスクなど）に常時軽いブレーキ力を当て摩擦熱で凍結を防止する耐雪ブレーキの採用の検討
6. 軸ばね等外部にむき出しとなるばねはゴムで覆うなど、凍結時のばね定数を維持する構造の検討
7. ブロワによる強制風冷を機器に使用する場合、入風箇所の防雪フィルタの強化（場合によっては雪切室の設置）
8. 燃料電池の凍結対策としては、第一に燃料電池内に水分を滞留させないための撥水性能に優れた素材の採用や内部水分の掃気などの活用を図る方法がある。第二に活用の向上発電の際に原理的に水とともに発生する熱を有効活用する手段ある。トヨタの MIRAI では、冷却水制御バルブでラジエータ側とバイパス側の流量比率を変えることで温度制御を行っているが、低温始動時バイパス側流量を増やし予熱に活用しているとともに、発生する熱を低温時の暖房に活用し、空調用として消費する電力を下げる技術もすでに実用化している。下図でオレンジ点線が燃料電池（FC）の排熱を利用しない場合の冷媒温度と電気ヒーターの消費電力、オレンジ点線が利用する場合の冷媒温度と電気ヒーター消費電力を示している。後方で電気ヒーター消費電力が大幅に低下していることが確認できる。



出典：自動車用サーマルマネジメントシステム DENSO TECHNICAL REVIEW Vol.24 2019

図 3.10-10 燃料電池からの排熱を利用した暖房

第三に通常運転時はトヨタの MIRAI では発生する水を一旦ためてシステムオフ時にまとめて排水する機構を有する。これらの施策により運転中の水の滞留による問題発生を回避している。

9. 機器に水冷を適用する場合の冷却液の凍結防止対策と冷却性能の両立（凍結防止のため冷媒の凍結防止剤の濃度を上げると冷却性能が低下するトレードオフの関係がある）に問題がないかのチェックが必要である。燃料電池用の冷却水は FC スタックの中を通すため低電気抵抗であることと、それを保持することが求められるため、それら特性を持つ凍結防止剤と使用中に発生したイオンを除去するイオン交換樹脂等との組み合わせ技術の採用が必要である。冷媒が求められるそれらの技術はすでに実用化済である。
10. 五合目の環境条件（低下した気圧等）で冷却性能等が問題ないかの確認

(5) 白線読み取りまたは磁気マーカによる誘導

白線および磁気マーカの読み取りは、車両先頭下部に設置したセンサが白線または磁気マーカを検知し、これらに誘導されて推進する技術である。白線を読み取る技術については、Autonomous-rail rapid transit tram: System architecture, design and applications(2024)²⁹によると、センサが白線の画像データを取得し、グラフィック情報を分離・識別し、これらの特徴を抽出した上で、デジタル軌道として認識する。これは、自動車が車線から逸脱するのを防止するためのレーンキープシステムと同じ技術であり、一般的な自動車でもすでに実装されている。

磁気マーカ読み取り式の技術については、「アスファルト 239 号」（2024 年）によると、

²⁹ Autonomous rapid transit tram: System architecture, design and applications, Jiamghua Feng et., al, Green Energy and Interlligent Transportation, 2024

1990年代から研究がされてきたが、当時のセンサ技術が未熟だったことからコスト面も含めて普及が難しかったようである。しかし、近年のセンサ読み取り技術の向上およびRFIDチップ（無線タグ）の磁気マーカへの付帯により、座標位置の特定精度が大幅に向上した。これにより、低価格化が実現した。2005年の愛知万博では、磁気マーカを読み取り推進するIMTSが活躍した。近年では、道路上に磁気マーカを埋込み、磁気センサを取付けたバスの運行が日本国内で社会実装されつつある。富士スバルラインでは降雪があることから、これらの磁気マーカによる誘導技術が優位であり、これらの技術は富士トラム車両にそのまま活用が可能である。

(6) 自動運転

自動運転の技術は3.3節にまとめた通り、日本国内ですでに技術開発および導入に向けた動きが活発に進んでいる。また、(5)で述べた白線または磁気マーカ読み取り技術と組合わせて自動運転を補助している。これらの技術をそのまま富士トラム車両に適用することが可能である。

(7) 車体（低床式）

車体設計をする上での考慮すべき前提条件は以下のとおりである。なお、直接低床式に限らない項目も含む。

1. 輪重管理

通行する道路の構造物からくる制約で軸重や総質量に制約がある。大容量の蓄電池や水素燃料電池とのハイブリッドシステムを装備することによる質量増加を適切に管理して最大規定質量以内とする必要がある。計画段階での最大輪重は4.5t（軸重9t）、編成質量は6軸で41.1t、編成連結で12軸、82.2tである。

2. 屋根の強度強化

低床式車体では重量物を含む多数の機器を屋根上に艀装するため、車体強度はその荷重に耐えるよう設計する必要がある。

3. 転覆限界の確認

低床式車体では屋根上艀装により重心が高くなりがちであり、カントや強風、全乗客の特定の側への偏移などの、転覆を助長する条件が重なった最悪条件に対しても余裕があるような設計と確認が必要である。

4. 客室アコモデーション

低床式の特徴であるバリアフリー（車いす対応に必要な幅を持たせた出入口とスペースの確保）と定員の確保との両立の検討が必要である。また想定する低床車体を実現するために、装荷する各機器に対して以下の技術的課題に配慮した設計とすることが望ましい。

5. 屋根上機器

床下に置かざるを得ない車輪、主電動機以外は基本的に屋根上が艤装スペースとなるが、床下艤装に比べ必然的に重心が高くなり、移動体としては相対的に不安定となりかねないことは上述した通りで、太陽光や雨雪に直接さらされるなどの周囲環境の変化にも耐える寒冷地仕様の対候性設計を満たしている必要がある。

6. 車軸レス

左右の車輪を結合する車軸がある場合、床をかさ上げする必要があるため車軸レスで考える。主電動機は車輪のホイールに内蔵する（インホイールモータ）設計となる。インホイールモータなどの関連機器は最近では実用例も増えてきたが、別項目で記述した操舵機構を低床式車体と組み合わせた設計を実現することが課題となる。

7. 振動発生機器の設置場所

一般に動作時、起動停止時に異なる周期での振動が発生するので防振対策が必要となる。コンプレッサのような起震元が車両の支持点（車輪接地面）との距離が大きいほどモーメントが大きく、防振のための対策が余計に必要なことになる。そのため、できるだけ車輪に近い場所に設置することにより防振対策は容易になる。以上から、技術的な課題としてはコンプレッサの防振設計、小型軽量化、オイルレス等のメンテナンスフリー設計、できるだけ居住性に影響を与えない設置場所の確保等がある。

いずれも、低床式車体を製造した実績がある国内メーカーであれば、要素技術として新規技術開発が必要な課題ではない。

(8) 燃料電池および蓄電池による架線レス運転

鉄道や自動車などの移動体に使われる電池の種類と機能の比較は 2.2.3 節に詳細に記述している。富士トラムにおいては高出力タイプではなく大容量タイプが必要であるため、以下検討はリチウムイオン電池を採用前提で行う。なお、以下の検討では、リチウムイオン電池と燃料電池を併用した場合について、それぞれの容量を検討している。結果として、リチウムイオン電池のみの場合より、燃料電池と併用した場合の方が、屋根上のスペースに余裕があることが分かった。

1. リチウムイオン電池での実装容量とスペース

低温時の性能低下（20%程度）や使える SOC 範囲（20~100%間の 80%）寿命による性能低下保証分を 10%と考えると、表 3.4-4 の No.13 にある蓄電池容量計算結果から講じる 295kWh を実使用するため、搭載すべき蓄電池容量は $295/0.8/0.8/0.9=512$ kWh を搭載する必要がある。現計画では 1 編成連結あたり 4 両分のスペースが割り当てられているため、1 両あたり搭載量は 128kWh となる。1 両あたり積載スペースは幅 2.5m 長さ 3m（搭載スペース 4m のうち電池本体に割り当てる長さ）高さ 0.5m で考えるため、蓄電池本体の艤装可能容積は 3.75m³となる。

鉄道車両への搭載実績がある東芝製 SCiB 2P12S モジュール Type1-23 (@1.24kWh W190 × D361 × H125 mm) モジュールで搭載可能なモジュール数を計算する。上記スペースに配線、冷却スペースも考慮して高さ方向に 1 列、幅方向に 12 列、前後方向に 15 列並べるとすれば $1 \times 12 \times 15 = 180$ 個 (220kWh) 程度は搭載可能となる。

必要な容量 128kWh < 搭載可能量 220kWh となるため現計画のスペースで十分構成可能である。

2. 実装水素タンク容量とスペース

1 往復で消費する水素は編成連結あたり 25.9kg、70MPa、気温 35°C (麓の最高気温) で 480L となる。入手可能な国産の水素タンクの例として、マザーサンヤチヨの大容量水素タンク (70MPa 260L Φ574-2265mm) 2 本で賄える。1 編成連結で水素タンク搭載箇所に割り当てられるスペースは幅 2.5m、前後 3m の 2 両分のため、配管スペースなどを考慮しても 1 編成連結で 8 本の搭載が可能である。搭載スペースの余裕分で無補給での往復回数を下表のように増やすことも可能となる。8 本の搭載で 4 往復は無補給での往復が可能となる。

表 3.10-7 無補給往復回数と必要タンク数

無補給往復回数	必要タンク数
1	2
2	4
3	6
4	8

出典：受託者

(9) 連結運転

2 編成の連結運転を実現させるための連結機構としては、以下 2 種類の技術が考えられる。

- 連結器や艀装線引き通しジャンパ装置を装備するハード連結
- 車両間の距離を保ちながら別の編成同士を協調運転するソフト連結

ハード連結は鉄道用に幅広く実用化されており、連結器などのハード機器や車両間を渡る配線が必要となる。富士トラム車両においても、従来の鉄道用の技術を活用し、ハードによる連結で運転が可能になる可能性は高い。

ソフト連結については、実績として、2005 年日本国際博覧会 (愛・地球博) で IMTS として乗客を乗せた隊列走行で実走行した。この技術を活用し、現在ではトラックの隊列走行に活用されている。技術的には IMTS 技術の活用で実現可能と考える。

3.11. 富士トラム導入に係るコスト試算

3.11.1. 導入費用

富士トラム導入に係るコストは、3.7.2 節で示した初期費用に反映済みである。ここでは、各費目について詳細にまとめる。

3.7.2 節でまとめた通り、付帯構造物、軌道付加物、車両基地、交通結節点整備、ライフライン整備は LRT と同額とする。これら以外の費目について以下まとめる。

磁気マーカ

磁気マーカの敷設単価は、図 3.11-1 に示す通り、4 百万円/km となる。

		単位	建設費(百万円)
マーカー敷設コスト		kmあたり	4
消耗部分	アスファルト(舗装)	kmあたり	12
	白線(レーンマーク)	kmあたり	3
躯体部分	土工部	kmあたり	5,000
	橋梁部	kmあたり	19,000
	トンネル部	kmあたり	42,500
付帯設備	料金所	箇所あたり	400
	パーキングエリア	箇所あたり	1,800

出典：技術雑誌アスファルト 239 号

図 3.11-1 磁気マーカ敷設コスト

延長は、本線と終端駅での車両回送、車両基地内を合計したものとなる。

本線 27.7km を往復分、すなわち 55.4km となる。本線区間は急曲線区間も多いことから、1 割の余裕を見て 60km 分とする。終端駅での車両回送および留置用に 5km 分を見込む。車両基地内では、水素の充填や車両留置箇所、試運転線等、多くの箇所で磁気マーカを設置することを考慮して 10km 分を見込む。これらを合計すると、磁気マーカ敷設延長は、75km となる。よって、コストは以下の通りとなる。

$$4 \text{ 百万円/km} \times 75 \text{ km} = 300 \text{ 百万円}$$

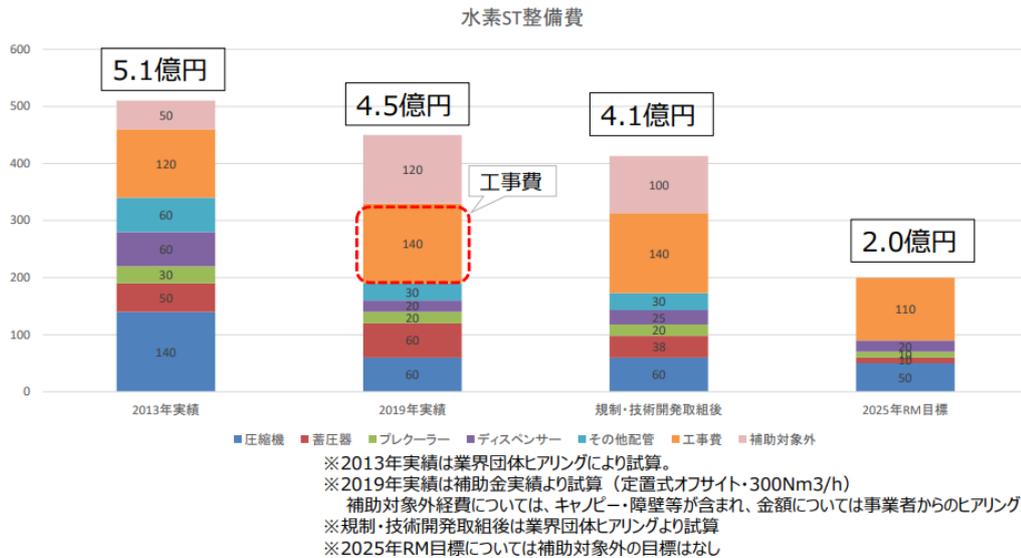
水素ステーション

水素ステーションについては、3.7.2 節に示した計算から、300Nm³/h の能力が 12 個必要となる。経済産業省の「FCV・水素ステーション事業の現状について」の情報から、規制・技術開発取組後の 300Nm³/h の製造能力あたりの水素ステーション設置費用は 4.1 億円とな

っており、この単価を活用する。本資料によると、2.0 億円を目標とするものの、大きな乖離があることが分かる。今後、さらに改革が進むと単価が下がる可能性はあるが、ここでは現実的な値を採用する。

水素ステーションの整備費の推移

- 2019年の一部設備の費用（圧縮機、ディスペンサー）は、2013年実績から低減しているが、工事費の実績値は当初から高止まりしている。また、現状想定される規制改革等によるコストダウン効果を加味しても目標値との乖離がある。



6

出典：経済産業省「FCV・水素ステーション事業の現状について」

図 3.11-2 水素ステーション整備費の推移

プラント等の整備費用の積算では、単純に数量分が比例するわけではなく、経験則から 0.6 乗則が適用されることが多い。300Nm³/h の 12 個相当の設備が必要ではあるが、12 の 0.6 乗、すなわち約 4.4 個相当のコストが必要となる。よって、整備コストは以下の通りとなる。

$$410 \text{ 百万円}/(300\text{Nm}^3/\text{h 能力}) \times 12 (300\text{Nm}^3/\text{h 能力})^{0.6} = 1,821 \text{ 百万円}$$

通信設備

通信施設は、基本的には LRT と同規模であるが、過年度調査の内訳が不明のため、新たに計上する。同じ交通システムの導入が計画されているサラワクメトロを参考に計上している。以下、表にまとめる。なお、単価は一般に公表されている情報ではないため詳細は伏せている。

表 3.11-1 通信関係の初期費用

費目	金額(百万円)	備考
信号	826	
通信	441	
CMMS(設備保安管理システム)	64	終端駅に設置
SCADA(制御システム)	81	終端駅に設置
自動料金收受システム	368	終端駅に設置
ITS	55	終端駅に導入
OCC(指令室)	672	1 箇所
アプリ開発	50	
小計	2,555	
その他予備費	383	小計の 15%
合計	2,939	

出典：受託者

車両

サラワクメトロへのヒアリングから、車両製造に加え、輸送・整備・2-3 年間の部品供給とメンテナンスのコスト込みで 20 百万 MYR (マレーシアリングット) である。1MYR を 33 円とすると 6 億 6 千万円となる。ここから、輸送費と 2-3 年の部品供給とメンテナンス費を考慮する。部品供給とメンテナンス費に関しては、日本国内における降雪地域の維持管理費用をヤードスティック式から算出したところ、1 編成あたり 3 年間で概ね 2 億円と算出された。ここに、バッテリーやタイヤ等の消耗品の交換のコストが必要になる。輸送費用については、サラワクは海沿いに面しているが、山梨県は内陸にあるため、サラワクよりかは若干輸送費が高いと考えられる。これらを全て考慮して、車両単価は 1 編成あたり 4 億円と設定した。なお、宇都宮 LRT はデザインの見直しを行い 1 編成あたり 4.3 億円である。

除雪車と清掃車は同額同数を計上している。

富士トラム車両：4 億円 × 40 編成 = 160 億円

清掃車： 45 百万円 × 2 両 = 90 百万円

除雪車： 336 百万円 × 3 両 = 1,008 百万円

走行路面補強

LRT 計画の時は、軌道を整備することによりその軌道以外の箇所の路面を復旧する道路復旧費用が計上されていたが、富士トラム計画では不要である。一方で、富士トラム車両は、磁気マーカもしくは白線に誘導されて同じ箇所を走行することになる。近年の技術では走行箇所を若干ずらすことも可能ではあるが、概ね同じ箇所を重い重量の車両が通過するため、走行箇所の路面補強が必要である。

コンクリート舗装で諸経費・予備費込み単価で 21,000 円/m²とする。

タイヤの幅は車両スペックより 30.5cm である。余裕幅を左右それぞれ 10cm ずつとすると、1 輪あたり 50.5cm となる。そのため、往復で両輪を考慮すると、2.02m となる。整備延長は 27.7km の往復に加え、終端駅の前後往復で 5km を考慮する。

整備面積：幅 2.02 m × 32.7 km = 66,000 m² (端数調整)

整備費用： 21,000 円/m² × 66,000m² = 1,386 百万円

表 3.11-2 誘導系の初期費用（表 3.7-5 の再掲）

費目	金額(億円)	備考
付帯構造物	30	LRT と同額
磁気マーカ	3	本線 27km 往復と車両基地に埋設
軌道付加物(ロードヒーティング)	120	LRT と同額 (ロードヒーティングを導入する場合)
駅 (停留所)	37	駅躯体工事は五合目のみとし簡素化する
水素ステーション	18	3600Nm ³ 供給能力分
通信設備	30	地上信号・通信・SCADA 等
車両	171	車両、清掃車、除雪車
車両基地	50	LRT と同額
交通結節点整備	45	LRT と同額
走行路面補強	14	タイヤ走行箇所の路面補強
ライフライン整備	100	LRT と同額(電気施設込み) (共同溝を整備する場合)
合計	618	

*金額は税抜き *ライフライン整備費は LRT との比較のため計上

出典：受託者

3.11.2. 運営・維持管理費用

富士トラムの運営・維持管理費用については、3.7.3 節で示した誘導系の運営・維持管理費用に反映済みである。ここでは、各費目について詳細にまとめる。

人件費

人件費単価は、箱根登山鉄道の鉄道統計年報の最新の平成 29 年度～令和 3 年度の平均値の 5,050,244 円を採用した。人数に関しては、本社部門は同平均値の 30 人、運転部門は 123 人、技術部門は 31 人から軌道担当を 5 人除いた 26 人とする。よって、年間の人件費は以下となる。

$$505 \text{ 万円/年} \times 179 \text{ 人} = 904 \text{ 百万円/年}$$

修繕費

修繕費は、箱根登山鉄道の修繕費から線路修繕費、電路修繕費を除き、水素修繕費を加えた物とする。鉄道統計年報では、諸税や減価償却を除いた営業費用合計と、線路修繕費と電路修繕費等に加え、延日キロ（営業キロに営業日数を乗じたもの）が載っている。これらの最新の平成 29 年度～令和 3 年度の平均値を適用して、水素修繕費以外のコストを算出する。

箱根登山鉄道における営業費用から線路修繕費と電路修繕費を除いた金額は 82,563 千円であり、延日キロは 5,478 キロである。そのため、営業 1 日 1km あたり 15,073 円となる。富士トラムの場合、営業キロと営業日数を乗じると、修繕費は以下の通りとなる。

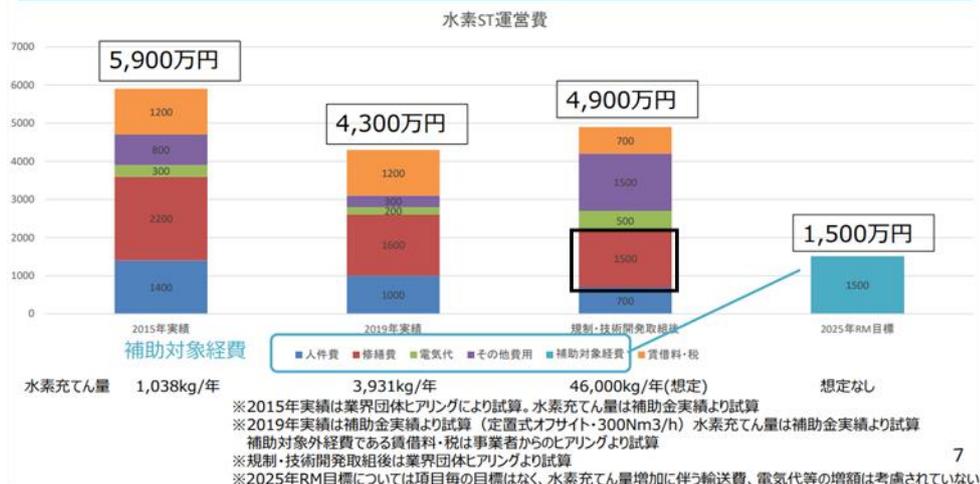
$$15,073 \text{ 円} \times 27.7 \text{ km} \times 280 \text{ 日} = 116 \text{ 百万円/年}$$

水素ステーションの修繕費については、経済産業省の「FCV・水素ステーション事業の現状について」の情報から、修繕費は 300Nm³/h あたり年間 1,500 万円とする。今回の計画では、3,600Nm³/h の供給量を想定していることから、水素ステーションの修繕費は以下の通りとなる。なお、今後の技術開発や大量整備によりさらに安価になる可能性があるが、ここでは現時点で現実的な修繕費を見積もる。

$$1,500 \text{ 万円}/(300\text{Nm}^3/\text{h}) \times 12 = 180 \text{ 百万円/年}$$

水素ステーションの運営費の推移

- これまでは、技術開発による機器の信頼性向上や部品の低コスト化に伴う補修費低減、アウトソース等による合理化により人件費の低コスト化を実現。
- 今後は、遠隔監視と保安監督者兼任等により更なるコスト低下を見込むが、充てん量が増えてくるにつれ、水素輸送費や電気代等の増加が予想される。



出典：経済産業省「FCV・水素ステーション事業の現状について」

図 3.11-3 水素ステーション運営費の推移

よって、年間の修繕費は以下の通りとなる。

$$116 \text{ 百万円/年} + 180 \text{ 百万円/年} = 296 \text{ 百万円/年}$$

動力費

動力費は、動力源としての水素の充填に係るコストと、近隣の水素製造施設から運搬するコストを見積もる。

水素充填に係るコストは、水素の単価に消費効率を乗じることで求める。消費効率は、3.4.3で計算した通り、0.468kg/km とする。単価については、第2回モビリティ水素官民協議会（2022年10月5日）の資料より、963円/kgを採用する。なお、令和5年の水素基本戦略³⁰によると、2030年の水素単価の目標値は334円/kgとされている。

³⁰ https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/saisei_energy/pdf/hydrogen_basic_strategy_kaitei.pdf

FCバスの普及に向けた方策

水素ステーションのコストダウン

- ・35 MPa化による主要設備（圧縮機、蓄圧器等）と運営費のコストダウン
- ・水素ステーション建設費を1億円以上削減可能
- ・運営費のコストダウンと信頼性向上が可能

規制見直しによる効率化

- ・無人遠隔運転の導入：人件費の削減、設備稼働率の向上
- ・水素製造装置の吐出圧力の緩和：効率向上、海外製品採用によるコストダウン
- ・圧力に応じた距離規制への見直し：敷地面積および障壁の削減

一定規模の35 MPa車両と水素ステーションの集中導入

- ・集中導入することで、早期の水素ステーション事業自立とFC商用車の普及が可能
- ・水素ステーション1基あたり35 MPaバス20台程度で事業自立の可能性有
- ・バスの他、塵芥車、配送用トラック等の一定範囲を走行する車両には適用可能

FCCJ超低コストST検討TF試算結果

	70 MPa	35 MPa
建設費総額	3.9億円	2.8億円
運営費/年	2,200万円	1,400万円
水素コスト		
OPEXのみ	963円/kg	809円/kg
CAPEX込み	1,694円/kg	1,341円/kg

*試算条件：オフサイト300 Nm³/h、無人遠隔運転、水素需要53,000 kg/年、水素調達コスト550円/kg



TOKYO GAS Hydrogen Solution Group

出典：第2回モビリティ水素官民協議会「東京ガスにおける水素ステーションの取組みと燃料電池バスの普及に向けた課題」

図 3.11-4 水素供給単価

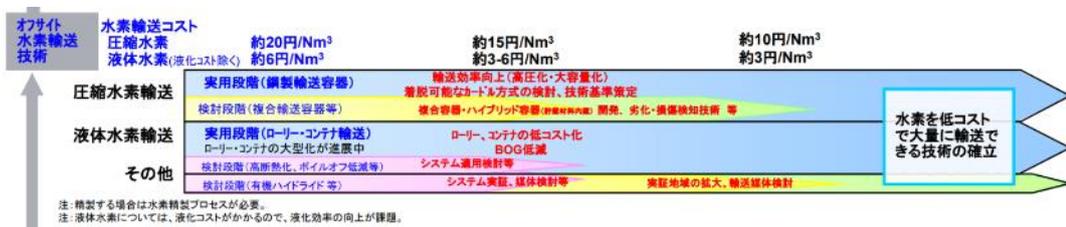
よって、走行単価は以下の通りとなる。

$$0.468\text{kg/km} \times 963 \text{ 円/kg} = 451 \text{ 円/km}$$

これに年間の車両キロを乗じると水素費が求まる。

$$451 \text{ 円/km} \times 3,778,723 \text{ 車両キロ/年} = 1,704 \text{ 百万円/年}$$

水素運搬にかかるコストは、NEDO の技術実証情報によると、圧縮水素で約 20 円/Nm³(241 円/kg)とのことである。



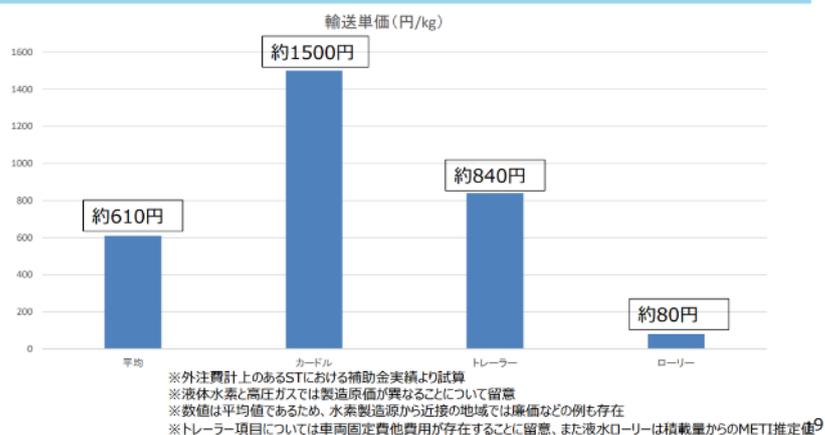
出典：NEDO「水素製造・輸送・供給技術ロードマップ」

図 3.11-5 水素輸送単価

他方で、経済産業省の「FCV・水素ステーション事業の現状について」の情報によると、圧縮水素輸送のガードルで 1,500 円/kg、トレーラーで 840 円と算出されている。なお、注記されている通り、水素製造源から近接の地域では廉価になる例もあることから、山梨県では水素製造が盛んなことと、米倉山から富士吉田市まで 100km 以内と比較的短距離であることから、全国平均値より安価であると考えられる。

手法別の水素運搬費用の比較

- オフサイトの水素ステーションにおいては、水素価格の他に水素ステーションまでの水素運搬にかかる費用が必要であり、各手法毎に外注費を運搬費用と仮定して試算したところ（下図）。
- 圧縮水素（カードル、トレーラー）と比べて、一度で大量の水素を輸送可能な液化水素はkg当たりの輸送費が安価と推測される。



出典：経済産業省「FCV・水素ステーション事業の現状について」

図 3.11-6 水素ステーション運営費の推移

そのため、本事業における水素輸送単価は 840 円/kg と 241 円/kg の平均の 540 円/kg とする。1 日の輸送量は 3.9 トンのため、年間の輸送量は以下の通り計算される。

$$540 \text{ 円/kg} \times 3.9 \text{ トン/日} \times 280 \text{ 日/年} = 589 \text{ 百万円/年}$$

その他経費

その他経費については、諸税および減価償却費、修繕費、動力費を除く営業費となる。動力源や交通システムに関わらず必要な経費と考えられる。鉄道統計年報の最新の平成 29 年度～令和 3 年度の平均値は 50,788 千円/年/営業キロとなっているためこの値を採用する。営業キロは 27.7km のため、その他経費は以下となる。

$$50,788 \text{ 千円/年/営業キロ} \times 27.7\text{km} = 1,407 \text{ 百万円/年}$$

上記をまとめたものを表 3.11-3 にまとめる。なお、山梨県道路公社の「経営状況等に関する文書」（令和 6 年）によると、令和 6 年度の富士山有料道路管理費の当初予算額は 5.17 億円となっている。本事業を実施しなかった場合でも、道路の維持管理には毎年 5 億円以上の維持管理費が必要である。

表 3.11-3 運営維持管理費

費目	金額(百万円/年)
人件費	904
修繕費	296
動力費	1,704
水素運搬費	589
その他経費	1,407
合計	4,900

*端数処理の関係で合計額と、各費目の合計とは一致しない

出典：受託者

なお、蓄電池のみの構成とした場合、必要となる動力費は電気代のみになる。参考のために以下に試算した。

- 1. 1 往復での正味消費電力量：250kWh（表 3.4-4 No.18）
- 2. TEPCO の HP によれば、夏季料金と他の季の料金に分かれ夏季料金は 18.22 円/kWh となる。適用は 7 月 1 日～9 月 30 日の 92 日のため、多客期の 92 日はこの料金で計算し、その他の期の料金は 17.22/kWh となり、標準の 188 日に適用する。これに再生エネ賦課金 3.98 円/kWh が加算される。
- 3. 多客期電気料金：（TEPCO 特別高圧電力 A60kV 夏期料金適用） $(18.22 + 3.98)$ 円/kWh*10 往復*15 時間*92 日*250kWh=76,590,000 円/年
- 4. 標準電気料金：（TEPCO 特別高圧電力 A60kV その他季料金適用） $(17.26 + 3.98)$ 円/kWh*(10 往復*8 時間*188 日+4 往復*7 時間*188 日)*250kWh=107,814,240 円/年
- 5. 基本料金：麓で 15 分間充電するとすれば、1 連結編成あたり 250kW の充電器 4 台で充電するとして、同時に充電するのは 3 連結編成になるため、契約電力は 3000kW となる。TEPCO 計算式に当てはめると、 $1715 \text{ 円/kW} * 3000 \text{ kW} * (185 - \text{力率 } 1) / 100 * 12 \text{ か月} = 113,601,600 \text{ 円/年}$ となる。

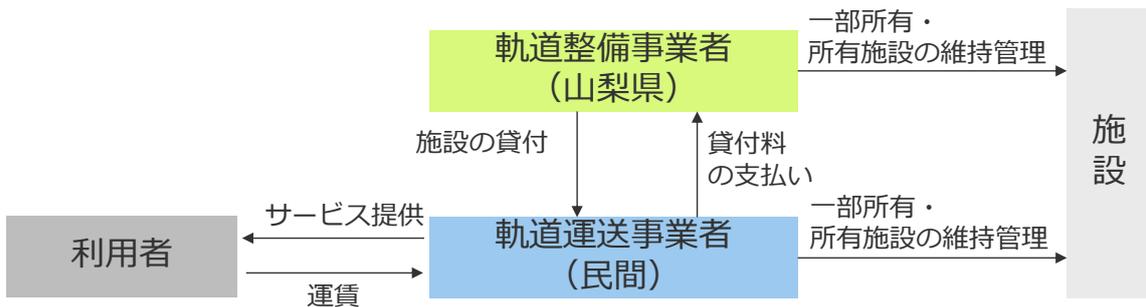
以上 3～5 項を合計すると年間車両運行にかかわる電気代は合計 298,005,840 円/年（298 百万円/年）となる。

4. 事業実施方式の検討

4.1. 事業実施方式

4.1.1. 過年度の検討結果のレビュー

令和5年度の富士山登山鉄道官民連携方策検討調査において、事業の実施については上下分離での実施を一つの案としている。すなわち、軌道整備事業者である山梨県が整備を行い、軌道運送事業者である民間企業に施設を貸付ける。その対価として貸付料を軌道運送事業者から軌道整備事業者に支払いを行う。図 4.1-1 にその概略図を示す。



出典：受託者

図 4.1-1 上下分離方式による官民の役割分担

各インフラの整備・保有・運営の役割分担は図 4.1-2 の通りと議論されていた。インフラの整備と保有については、軌道・磁気および停留所は公共が整備・保有し、車両と付帯施設は民間が整備（調達）・保有する役割分担としている。一方で、LRT と比べ、誘導系の交通システムの場合、大規模な軌道の整備や維持管理が不要になることから、官民の整備・保有のデマケについては、コスト負担のバランス等を鑑み、再検討が必要である。

	整備	保有	運営
軌道/磁気	公共	公共	民間
停留場	公共	公共	民間
車両	民間	民間	民間
付帯施設	民間	民間	民間

出典：「令和5年度富士山登山鉄道官民連携方策検討調査」受託者

図 4.1-2 各インフラにおける整備・保有・運営の役割分担

4.1.2. 事業実施方式の検討

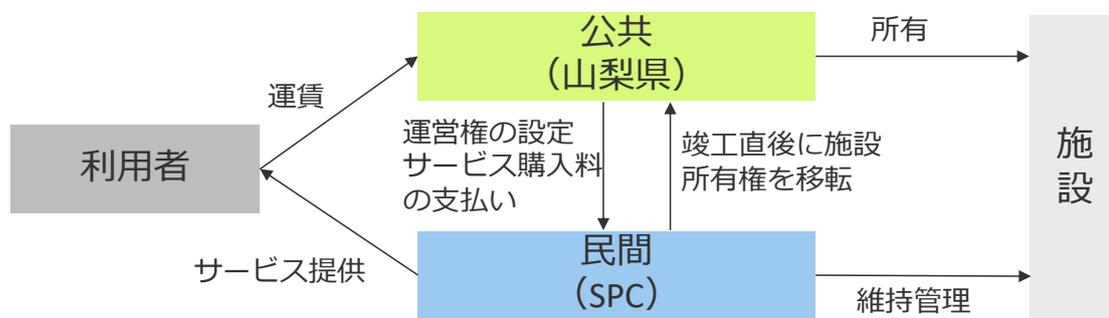
(1) PFI 方式

上下分離方式は、インフラの負担が大きい場合に、運営を担う民間企業にとってアドバンテージを発揮する。しかし、本事業では、誘導系の導入により、軌道および大規模な電力設備の整備・保有・維持管理の負担が軽減されることが分かった。そのため、上下分離に加え、民間主体の PFI により整備・運営を行う方式も考えられる。山梨県が PFI 法に基づき、施設的设计・施工・運営・維持管理を担う事業者を公募することにより進める官民連携手法の一つである。

PFI 事業類型は、リスク分担に関して大きく分けて、サービス購入型、独立採算型、混合型の三種類に分類される。サービス購入型は需要等のリスクを公共が負うことで民間の参入を容易にすることができる。民間事業者は輸送人数によらず、運行実績に応じてサービスの対価を公共から受け取る。独立採算型は公共が民間事業者に対して事業許可を出した上で、民間事業者が利用者から運賃収受を行い、需要リスクを負う形式である。混合型はこれらを組み合わせた形である。

PFI の具体的な手法は施設の所有や所有権の移転・譲渡のタイミングで異なる。

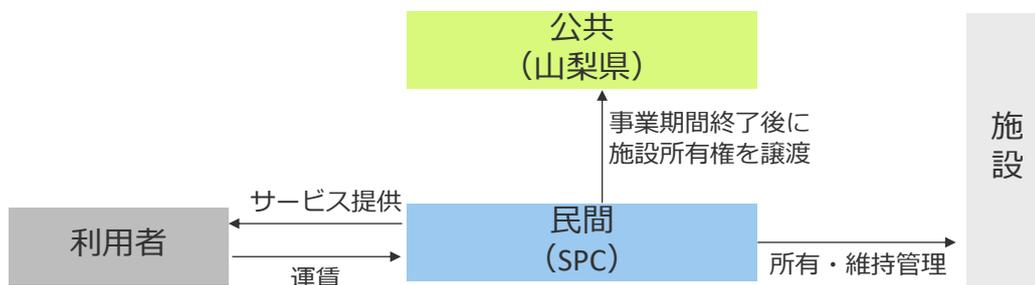
例えば、BTO (Build Transfer Operate) 方式は、民間事業者である SPC (Special Purpose Company) が施設を整備し、竣工後に所有権を山梨県に移転するが、運営権を SPC に設定した上で、SPC が施設の運営・維持管理を行う方式である。



出典：受託者

図 4.1-3 BTO 方式（サービス購入型）による官民の役割分担

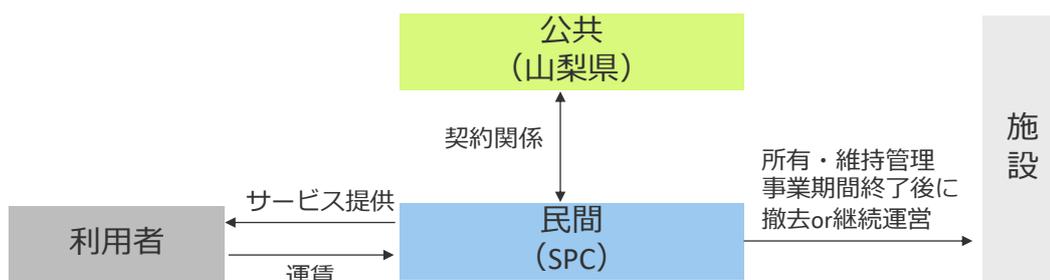
BOT (Build Operate Transfer) 方式は、SPC が施設を整備し、施設を所有した状態で運営・維持管理を行い、事業期間終了後に施設の所有権を山梨県に譲渡する方式である。



出典：受託者

図 4.1-4 BOT 方式（独立採算型）による官民の役割分担

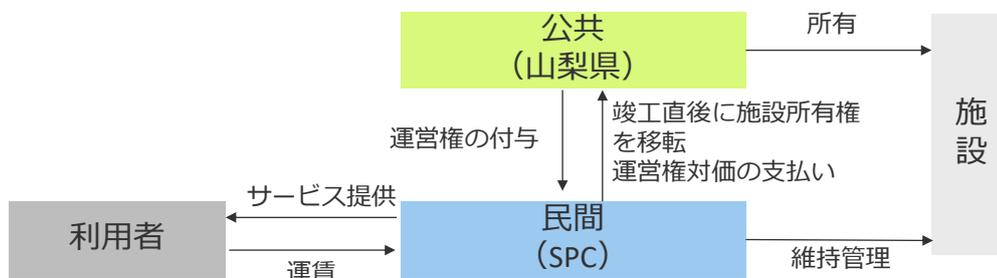
BOO (Build Operate Own) 方式は、SPC が施設を整備し、施設を所有した状態で運営・維持管理を行い、事業期間終了後に撤去または引き続き民間事業として運営する方式である。



出典：受託者

図 4.1-5 BOO 方式（独立採算型）による官民の役割分担

BT (Build Transfer) + コンセッション方式は、SPC が施設を整備し、竣工後に所有権を山梨県に移転し、山梨県が同施設に公共等運営権を設定し SPC に付与させ、引き続き SPC が運営・維持管理を行う方式である。BTO は公共が必要リスクを負うサービス購入型であるが、BT+コンセッション方式は独立採算型で民間が必要リスクを負う。

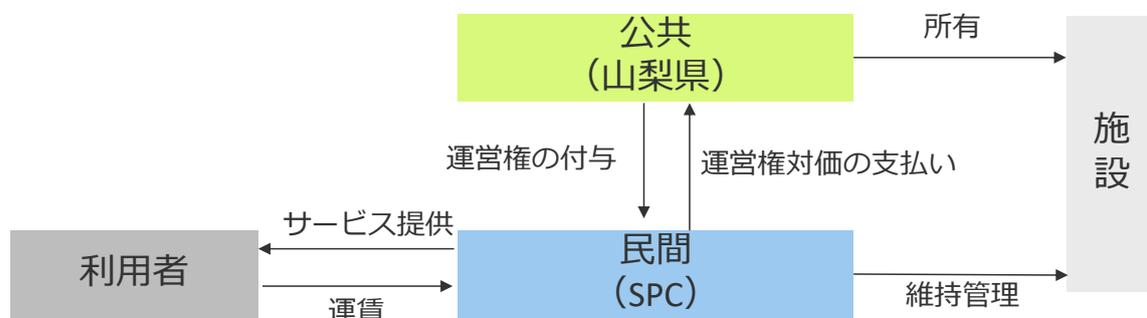


出典：受託者

図 4.1-6 BT+コンセッション方式による官民の役割分担

(2) コンセッション方式

コンセッション方式は公共が整備した施設に対して、民間事業者の SPC に運営権を設定し、選定された事業者 (SPC) が施設の運営・維持管理を行う方式である。需要リスクは SPC が負い、SPC は公共に対して運営権対価を支払う。

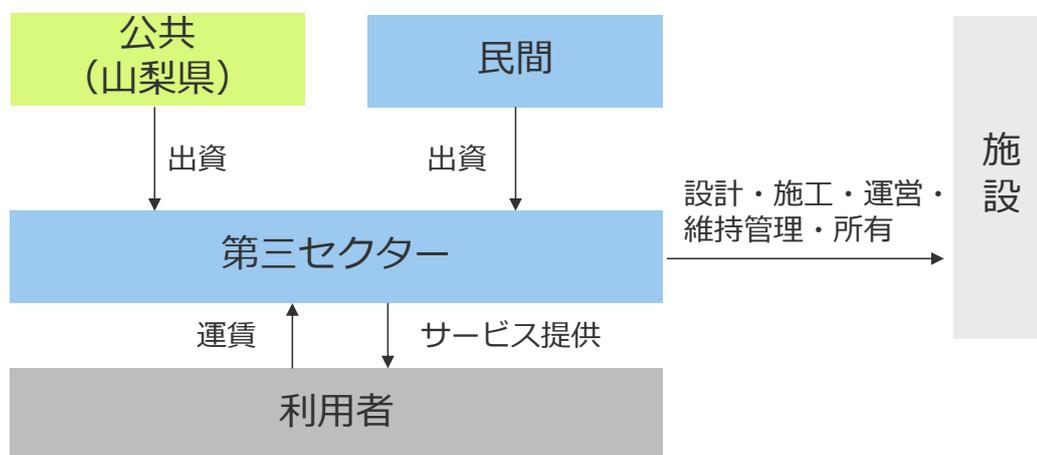


出典：受託者

図 4.1-7 コンセッション方式による官民の役割分担

(3) 第三セクター方式

PFI 事業とは異なり、公共と民間企業が出資する事業体が施設整備・運営・維持管理を行う第三セクター方式がある。宇都宮 LRT はこの方式を採用している。第三セクター方式は、民間のノウハウを活用しつつも、公共側が事業を企画・推進する。

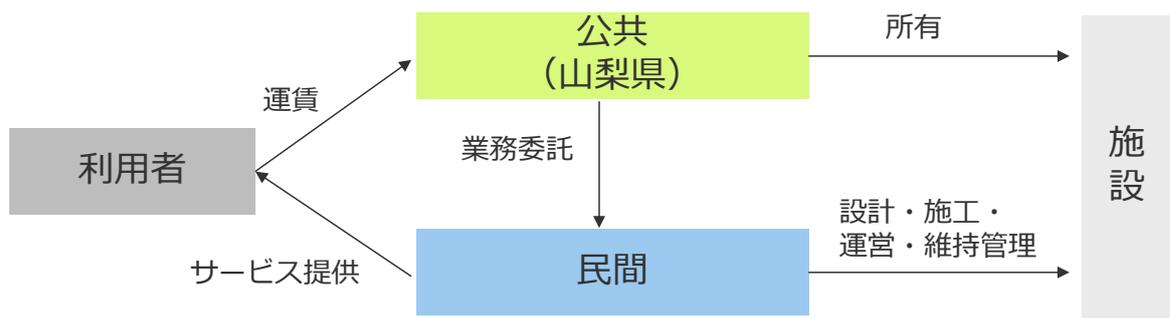


出典：受託者

図 4.1-8 第三セクター方式による官民の役割分担

(4) DBO/DBFOM 方式

本事業を進める上で、運営を担う民間事業者を早期に決定し、民間事業者のノウハウを早い段階から活用することは有益である。設計施工運営一括方式 (DBO: Design Build Operate) は、設計段階から運営段階まで一括で契約を行う。資金調達や維持管理も含めて DBFOM (Design Build Finance Operate Maintenance) 方式も存在する。



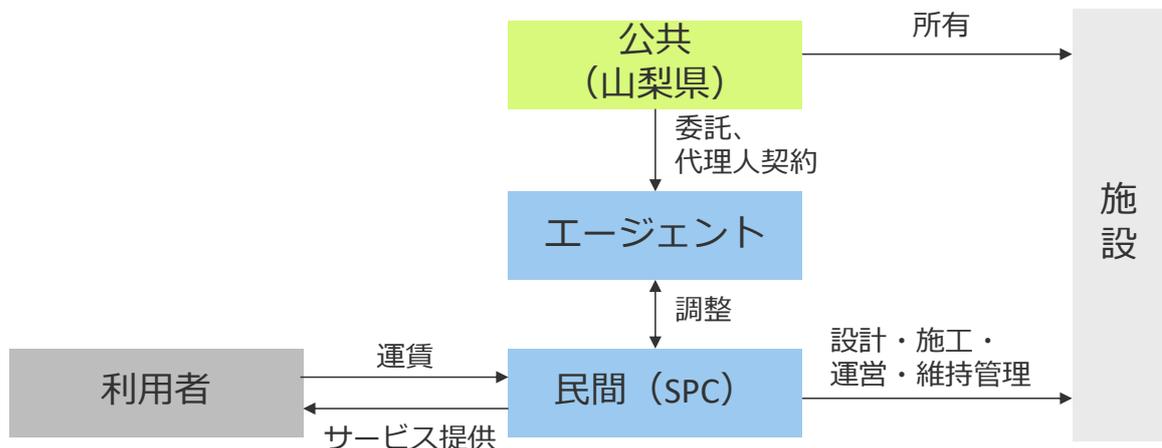
出典：受託者

図 4.1-9 DBO 方式（サービス購入型）による官民の役割分担

(5) PPP エージェント方式

PPP エージェント方式は、公共と民間の間に立つエージェントが主体となって事業を企画・推進していく実施方式である。基本的な意思決定は公共が行うが、公共から業務委託を受けたエージェントが民間事業者と対話を進め、交通システムの基本設計や調達、施工、運営、維持管理を進める。

長期的で事業費が高い事業の場合、エージェントに報酬を長期渡って支払い続けることになる点と、民間が長期にリスクを負う点に留意が必要である。他方で、エージェントが事業のイニシアチブ取ることで、効率的に事業を進め、公共の管理負担や財政的負担を抑えつつ事業を進めることが期待できる。



出典：受託者

図 4.1-10 エージェント方式による官民の役割分担

表 4.1-1 各事業実施方式による官民の役割分担

事業方式	財務的負担	施設所有・管理	運営リスク	民間ノウハウ活用
上下分離方式	インフラは官が負担	それぞれの所有物を管理	民	運営のみ
PFI方式：BTO	民	官が所有、民が管理	官	官管理のもと設計段階から
PFI方式：BOT	民	民が所有・管理	民	官管理のもと設計段階から
PFI方式：BOO	民	民が所有・管理	民	官管理のもと設計段階から
BT+コンセッション方式	民	官が所有、民が管理	民	官管理のもと設計段階から
コンセッション方式	官	官が所有、民が管理	民	運営のみ
第三セクター方式	分散	分散	分散	活用可能
DBO方式	官	官が所有・管理	官	官管理のもと設計・施工・運営で活用
DBFOM方式	民	民が所有・管理	民	官管理のもと最大限活用
PPPエージェント方式	民	民が所有・管理	民	民間エージェントに一任し最大限可能

出典：受託者

4.2. 軌道法による官民連携の法的位置づけ

軌道法では官民連携に関する直接的な規定はない。軌道法に紐づく「地域公共交通の活性化及び再生に関する法律」第8条に軌道運動高度化事業の実施が規定されており、「軌道運送高度化事業を実施しようとする者は、単独又は共同して軌道運送高度化実施計画を作成し、これに基づき、当該軌道運送高度化事業を実施するものとする」と記載がある。この「共同」は後に出てくる軌道運送事業者と軌道整備事業者の二者を意味する。

第10条には軌道法のみなし特許について規定されている。第2項には、軌道整備事業者と軌道運送事業者が規定されており、軌道運送高度化事業として行われる軌道法の特許を受けたものとみなされることとなる。これらが官民連携の法的な位置づけとなる。

第2節 軌道運送高度化事業	(軌道法の特例)
<p>(軌道運送高度化事業の実施)</p> <p>第8条 地域公共交通計画において、軌道運送高度化事業に関する事項が定められたときは、軌道運送高度化事業を実施しようとする者（地域公共交通一体型路外駐車場整備事業があるときは、当該地域公共交通一体型路外駐車場整備事業を実施しようとする者を含む。第3項から第5項まで及び次条第1項において同じ。）は、単独で又は共同して、当該地域公共交通計画に即して軌道運送高度化事業を実施するための計画（以下「軌道運送高度化実施計画」という。）を作成し、これに基づき、当該軌道運送高度化事業を実施するものとする。</p> <p>2 軌道運送高度化実施計画には、次に掲げる事項について定めるものとする。</p> <ul style="list-style-type: none">一 軌道運送高度化事業を実施する区域二 軌道運送高度化事業の内容三 軌道運送高度化事業の実施予定期間四 軌道運送高度化事業の実施に必要な資金の額及びその調達方法五 軌道運送高度化事業の効果六 地域公共交通一体型路外駐車場整備事業があるときは、その位置、規模、整備主体及び整備の目標年次七 前各号に掲げるもののほか、軌道運送高度化事業の実施のために必要な事項として国土交通省令で定める事項	<p>第10条 軌道運送高度化事業を実施しようとする者（次項に規定する場合を除く。）がその軌道運送高度化実施計画について前条第3項の認定（同条第6項の変更の認定を含む。次項において同じ。）を受けたときは、当該軌道運送高度化実施計画に定められた軌道運送高度化事業のうち、軌道法第3条の特許を受けなければならないものについては、同条の規定により特許を受けたものとみなす。</p> <p>2 軌道運送高度化事業を実施しようとする者（軌道を敷設してこれを旅客の運送を行う事業に使用させる事業（以下「軌道整備事業」という。）を実施しようとする者と敷設された軌道を使用して旅客の運送を行う事業（以下「軌道運送事業」という。）を実施しようとする者とが異なる場合に限る。）がその軌道運送高度化実施計画について前条第3項の認定を受けたときは、当該軌道運送高度化実施計画に定められた軌道運送高度化事業として行われる軌道整備事業又は軌道運送事業については、軌道法第3条の特許を受けたものとみなす。</p> <p>3 国土交通大臣は、軌道整備事業又は軌道運送事業について特許がその効力を失い、又は取り消されたときは、当該特許がその効力を失い、若しくは取り消された軌道整備事業に係る軌道運送事業又は当該特許がその効力を失い、若しくは取り消された軌道運送事業に係る軌道整備事業の特許を取り消すことができる。</p>

出典：法令リード「地域公共交通の活性化及び再生に関する法律」HP

図 4.2-1 地域公共交通の活性化及び再生に関する法律の第8条と第10条

4.3. 本構想による事業形態および内容

富士トラム事業では、単なる交通事業のみならず、様々な事業も付随的に実施することができる可能性を有している。県が収入を想定できる事業として大きく分けて、(1)交通事業の貸付料、(2)税金・協力金等、(3)軌道運送事業者としての利潤配当、(4)商業開発の借地権およびコンセッション事業運営権対価、(5)エネルギー売価の5つに分類できる。それぞれについて、事業形態や料金徴収の方法をまとめる。

4.3.1. 交通事業

(1) 交通事業の事業実施と通常運賃の設定

交通事業では、民間事業者が運営を行うにあたり、公共側が民間側に施設を貸付けるため、その貸付料の収入が主な収入源になる。第三章の分析では、収益の30%を対価として支払う前提で分析を進めた。そもそも、交通運賃の許可に関しては軌道法11条に規定されており、これが根拠と運賃の収受が可能となっている。また、金額の根拠については、軌道法では明確に規定されていないが、鉄道事業法第16条の第2項において、「能率的な経営の下における適正な原価に適正な利潤を加えたものを超えないものである」、すなわち総括原価方式での金額算出が規定されている。通常、軌道法においても総括原価方式で料金を設定されており、本事業でも総括原価方式で設定することが求められると考えられる。運賃の支払いの流れは、乗客が運賃を軌道運送事業者支払い、その一部を施設貸付料として軌道運送事業者から軌道整備事業者支払いが行われる。

第11条 軌道経営者ハ旅客及荷物ノ運賃其ノ他運輸ニ関スル料金（国土交通省令ヲ以テ定ムル料金ヲ除ク）並運轉速度及度数ヲ定メ国土交通大臣ノ認可ヲ受クヘシ

2 前項ノ国土交通省令ヲ以テ定ムル料金ヲ定メントスルトキハ国土交通大臣ニ届出ツベシ

3 国土交通大臣ハ公益上必要アリト認ムルトキハ運賃、料金、運轉速度、度数又ハ發着時刻ノ変更ヲ命スルコトヲ得

(旅客の運賃及び料金)

第16条 鉄道運送事業者は、旅客の運賃及び国土交通省令で定める旅客の料金（以下「旅客運賃等」という。）の上限を定め、国土交通大臣の認可を受けなければならない。これを変更しようとするときは、同様とする。

2 国土交通大臣は、前項の認可をしようとするときは、能率的な経営の下における適正な原価に適正な利潤を加えたものを超えないものであるかどうかを審査して、これをしなければならない。

3 鉄道運送事業者は、第1項の認可を受けた旅客運賃等の上限の範囲内で旅客運賃等を定め、あらかじめ、その旨を国土交通大臣に届け出なければならない。これを変更しようとするときは、同様とする。

4 鉄道運送事業者は、特別車両料金その他の客車の特別な設備の利用についての料金その他の国土交通省令で定める旅客の料金を定めるときは、あらかじめ、その旨を国土交通大臣に届け出なければならない。これを変更しようとするときは、同様とする。

5 国土交通大臣は、第3項の旅客運賃等又は前項の旅客の料金が次の各号のいずれかに該当すると認めるときは、当該鉄道運送事業者に対し、期限を定めてその旅客運賃等又は旅客の料金を変更すべきことを命ずることができる。

- 一 特定の旅客に対し不当な差別的取扱いをするものであるとき。
- 二 他の鉄道運送事業者との間に不当な競争を引き起こすおそれがあるものであるとき。

出典：法令リード「軌道法」（左）、「鉄道事業法」（右）

図 4.3-1 軌道法第11条（左）と鉄道事業法第16条（右）

(2) ツアー料金の設定

交通運賃自体は(1)に示した通り総括原価方式で決定されるが、出発地から麓駅に来るまでの交通手段の確保や、五合目駅もしくは麓駅周辺のホテル宿泊等も含めたツアー料金として旅行代理店が販売することも可能である。表 4.3-1 に、ツアー料金設定に関連する法律とその内容をまとめる。

表 4.3-1 ツアー料金設定に関連する法律とその内容

関連法	内容
旅行業法	ツアーの価格設定について定められているが、具体的な金額設定方法は規定されていない。「適正な価格」を設定する
景品表示法	通常価格が高く設定され、値引き後の価格があたかも特別安いように見せかける「二重価格表示」を禁止
独占禁止法 (優位的地位の汎用)	五合目までの移動手段は他の選択肢が存在しないため、公平な価格設定が必要

出典：受託者

(3) 居住者割引の設定

居住者に限定した割引の設定は自治体の条例や要綱で行われている。多くは福祉事業としてシニア向けではあるが、当該地域に居住することが条件となっている。表 4.3-2 に各自治体を実施する居住者に限定した割引の事例をまとめる。なお、交通事業以外では、市町村営・都道府県営の施設では市民割・県民割は多数存在する。

表 4.3-2 各自治体を実施する居住者に限定した割引事例

自治体/割引名	内容	法律上の位置づけ
東京都/ 東京都シルバーパス	都内在住の満 70 歳以上の住民が購入できる。非課税者も対象で、1 年間で更新が必要	東京都シルバーパス条例 (平成 12 年東京都条例第 133 号)
大阪市/ 敬老優待乗車証	大阪市に住所のある 70 歳以上の住民が敬老優待乗車証(IC カード)を購入できる	大阪市敬老優待乗車証条例 (平成 25 年大阪市条例第 79 号)
福井県勝山市 えちぜん鉄道 運賃等 助成制度	勝山市に居住・通勤・通学している方に定期券購入額の 5・10% を助成している	えちぜん鉄道電車利用促進 助成金交付要綱

出典：受託者

(4) こども・障がい者割引の設定

日本国内のバスや鉄道等の運賃では、小学校入学前の子どもは幼児扱いになり無料である。運賃が発生するのは小学校入学からであり、6~12歳は大人料金の半額となる。

通常、障がい者の割引も行っている。割引率は事業者によって異なるが、通常料金の50%となることが多い。例えば、JR東日本や都営地下鉄、東京メトロでは、障がい者手帳を提示することで50%の割引を受けることができる。

(5) 外国人価格の設定

外国人価格については、我が国では割引制度が存在し、割増制度は存在しない。割引運賃については、1996年に提言が取りまとめられた訪日観光客倍増計画を示したウェルカムプラン21の方針に則り、各鉄道会社では外国人に対して割引を行う事例が存在する。表4.3-3に外国人割引の事例とその内容についてまとめる。

表 4.3-3 外国人割引の事例とその内容

事業者/割引名	内容
JR各社/ ジャパンレールパス	新幹線を含む全国のJR線に乗車できる。短期滞在で日本を訪問している外国人に限る
京都市営・京阪・JR西/ 関西エリアパス	日本国以外の政府が発行した旅券を有し、短期滞在に該当する在留資格を有する者が購入できる
JR東/ N'EX Tokyo Direct Ticket	成田エクスプレスの普通車指定席が割引になる。外国のパスポートを所持している外国籍の者が購入できる。

出典：受託者

(6) 交通事業以外における外国人価格の設定

外国人向けの割増し価格（二重価格）の導入は、交通事業のみならず交通事業以外の公共施設でも進んでいない。民間のレストラン等では一部導入されているが、それでもまだ普及はしていない。表 4.3-4 に主な事例をまとめる。姫路城では、富士山が抱えるオーバーツーリズム問題と同様の課題を抱えており、その解決手段の一つとして外国人向けの割増し価格を検討しているようである。

表 4.3-4 外国人割増し価格の事例とその内容

対象	内容
姫路城	2024年6月16日に姫路市長が「市民は5ドル、外国人は30ドルにしたい」と発言 ³¹ 。その後議論が進み、市民は入場料1,000円、市民以外の18歳以上を2,000～3,000円とする方針となり、外国人割増し価格の導入は見送られた。
大阪府	2024年3月の府議会で、外国人観光客を対象にした「徴収金」構想の検討を知事が表明 ³²
海鮮バイキング&浜焼き BBQ 玉手箱	日本人と在日外国人は飲食料金から割引を行う一方、外国人には、接客で英語を話せる人員を配置する負担を理由として正規の値段の支払いを求める。

出典：受託者

諸外国では、主に観光施設で自国民や圏域民とその他に分けた二重価格の事例が存在する。表 4.3-5 に事例をまとめる。

表 4.3-5 諸外国における二重価格の事例

対象	内容
カンボジア・アンコールワット	- カンボジア人、ASEAN 諸国市民、18歳未満：無料 - その他：37 USD
フランス・ルーブル美術館	- EU 圏在住の26歳未満：無料 - その他：22 USD
ネパール・登山許可	ネパールで登山を行う場合はTIMS (Trekking Information Management System)許可証の取得が必須である。 - ネパール人：1,000 NPR(約1,100円) - その他：2,000 NPR(約2,200円)

出典：受託者

³¹ <https://www.asahi.com/articles/ASS6P10Z2S6PPTIL006M.html>

³² <https://www.yomiuri.co.jp/local/kansai/news/20240527-OYO1T50000/>

4.3.2. 税金・協力金等

税金の新規創設の場合、地方税法上、法定外普通税および法定外目的税に該当する。地方税法第二百五十九条から二百六十一条（図 4.3-2）、および第七百三十一条から七百三十三条（図 4.3-3）によると、税率や上限額は規定されていない。ただし、議会において納税義務者の意見を聴き、最終的には総務大臣の同意が必要となる。

なお、法定外普通税は用途を限定せず、一般財源として扱われる。法定外目的税は用途が具体的かつ限定的となり、特定財源として扱われる。

<p>(道府県法定外普通税の新設変更)</p> <p>第二百五十九条 道府県は、道府県法定外普通税の新設又は変更（道府県法定外普通税の税率の引下げ、廃止その他の政令で定める変更を除く。次項及び次条第二項において同じ。）をしようとする場合においては、あらかじめ、総務大臣に協議し、その同意を得なければならない。</p> <p>2 道府県は、当該道府県の道府県法定外普通税の一の納税義務者（納税義務者となるべき者を含む。以下本項において同じ。）であつて当該納税義務者に対して課すべき当該道府県法定外普通税の課税標準の合計が当該道府県法定外普通税の課税標準の合計の十分の一を継続的に超えると見込まれる者として総務省令で定めるもの（以下本項において「特定納税義務者」という。）であるものがある場合において、当該道府県法定外普通税の新設又は変更をする旨の条例を制定しようとするときは、当該道府県の議会において、当該特定納税義務者の意見を聴くものとする。</p> <p>第二百六十条 総務大臣は、前条の規定による協議の申出を受けた場合においては、その旨を財務大臣に通知しなければならない。</p> <p>2 財務大臣は、前項の通知を受けた場合において、その協議の申出に係る道府県法定外普通税の新設又は変更について異議があるときは、総務大臣に対してその旨を申し出ることができる。</p> <p>第二百六十条の二 総務大臣は、第二百五十九条第一項の同意については、地方財政審議会の意見を聴かなければならない。</p> <p>(総務大臣の同意)</p> <p>第二百六十一条 総務大臣は、第二百五十九条第一項の規定による協議の申出を受けた場合には、当該協議の申出に係る道府県法定外普通税について次に掲げる事由のいずれかがあると認める場合を除き、これに同意しなければならない。</p> <ul style="list-style-type: none">一 国税又は他の地方税と課税標準を同じくし、かつ、住民の負担が著しく過重となること。二 地方団体間における物の流通に重大な障害を与えること。三 前二号に掲げるものを除くほか、国の経済施策に照らして適当でないこと。

出典：法令リード「地方税法」第二百五十九条から二百六十一条

図 4.3-2 地方税法第二百五十九条から二百六十一条（法定外普通税の新設変更）

<p>(法定外目的税の新設変更)</p> <p>第七百三十一条 道府県又は市町村は、条例で定める特定の費用に充てるため、法定外目的税を課することができる。</p> <p>2 道府県又は市町村は、法定外目的税の新設又は変更（法定外目的税の税率の引下げ、廃止その他の政令で定める変更を除く。次項及び次条第二項において同じ。）をしようとする場合においては、あらかじめ、総務大臣に協議し、その同意を得なければならない。</p> <p>3 道府県又は市町村は、当該道府県又は市町村の法定外目的税の一の納税義務者（納税義務者となるべき者を含む。以下本項において同じ。）であつて当該納税義務者に対して課すべき当該法定外目的税の課税標準の合計が当該法定外目的税の課税標準の合計の十分の一を継続的に超えると見込まれる者として総務省令で定めるもの（以下本項において「特定納税義務者」という。）であるものがある場合において、当該法定外目的税の新設又は変更をする旨の条例を制定しようとするときは、当該道府県又は市町村の議会において、当該特定納税義務者の意見を聴くものとする。</p> <p>第七百三十二条 総務大臣は、前条第二項の規定による協議の申出を受けた場合においては、その旨を財務大臣に通知しなければならない。</p> <p>2 財務大臣は、前項の通知を受けた場合において、その協議の申出に係る法定外目的税の新設又は変更について異議があるときは、総務大臣に対してその旨を申し出ることができる。</p> <p>第七百三十二条の二 総務大臣は、第七百三十一条第二項の同意については、地方財政審議会の意見を聴かなければならない。</p> <p>(総務大臣の同意)</p> <p>第七百三十三条 総務大臣は、第七百三十一条第二項の規定による協議の申出を受けた場合には、当該協議の申出に係る法定外目的税について次に掲げる事由のいずれかがあると認める場合を除き、これに同意しなければならない。</p> <ul style="list-style-type: none">一 国税又は他の地方税と課税標準を同じくし、かつ、住民の負担が著しく過重となること。二 地方団体間における物の流通に重大な障害を与えること。三 前二号に掲げるものを除くほか、国の経済施策に照らして適当でないこと。
--

出典：法令リード「地方税法」第七百三十一条から七百三十三条

図 4.3-3 地方税法第七百三十一条から七百三十三条（法定外目的税の新設変更）

我が国における法定外普通税および法定外目的税の事例を表 4.3-6 と表 4.3-7 に示す。例えば、法定外普通税に分類される廿日市市の宮島訪問税は、一回当たり一人 100 円、泉佐野

市の空港連絡橋利用税は1往復100円、太宰府市の歴史と文化の環境税は供用者駐車場利用1回あたり100円となっている。

法定外目的税については、宿泊税が一泊あたり200円程度、北九州市の環境未来税は廃棄物処分1トンあたり1,000円、環境協力税は1回あたり100円となっている。

表 4.3-6 法定外普通税（令和5年4月1日現在）

管轄	税目	実施地方自治体	税収 (単位：億円)
都道府県	石油価格調整税	沖縄県	9
	核燃料税	福井県、愛媛県、佐賀県、島根県、静岡県、 鹿児島県、宮城県、新潟県、北海道、石川県	257
	核燃料等取扱税	茨城県	12
	核燃料物質等取扱税	青森県	194
合計		13件	472
市区町村	別荘等所有税	熱海市（静岡県）	5
	砂利採取税	山北町（神奈川県） *R4.4.1失効	0.05
	歴史と文化の環境税	太宰府市（福岡県）	0.5
	使用済核燃料税	薩摩川内市（鹿児島県）、伊方町（愛媛県）、 柏崎市（新潟県）	16
	狭小住戸集合住宅税	豊島区（東京都）	5
	空港連絡橋利用税	泉佐野市（大阪府）	2
	宮島訪問税	廿日市市（広島県） *R5.10.1施行予定	-
合計		7件	29

出典：税理士法人 FP 総合研究所 HP

表 4.3-7 法定外目的税（令和5年4月1日現在）

管轄	税目	実施地方自治体	税収 (単位：億円)
都道府県	産業廃棄物税等	三重県、鳥取県、岡山県、広島県、青森県、 岩手県、秋田県、滋賀県、奈良県、新潟県、 山口県、宮城県、京都府、島根県、福岡県、 佐賀県、長崎県、大分県、鹿児島県、 宮崎県、熊本県、福島県、愛知県、沖縄県、 北海道、山形県、愛媛県	69
	宿泊税	東京都、大阪府、福岡県	15
	乗鞍環境保全税	岐阜県	0.05
合計		31件	84
市区町村	遊漁税	富士河口湖町（山梨県）	0.1
	環境未来税	北九州市（福岡県）	9
	使用済核燃料税	玄海町（佐賀県）	4
	環境協力税等	伊是名村、伊平屋村、渡嘉敷村、座間味村 （沖縄県）	0.1
	開発事業等緑化負担税	箕面市（大阪府）	0.5
	宿泊税	京都市（京都府）、金沢市（石川県）、 倶知安町（北海道）、福岡市（福岡県）、 北九州市（福岡県）、 長崎市（長崎県） *R5.4.1施行のため含めず	36
合計		14件	49

出典：税理士法人 FP 総合研究所 HP

年間想定利用者 300 万人全員が 1 回あたり 100 円、500 円、2,500 円（収支計算のケース 1）、4,500 円（収支計算のケース 2,3）の四パターンの年間税収額を表 4.3-8 にまとめる。これによると、一人当たり 100 円の徴収で 3 億円の税収となり、他都道府県や市町村の法定外普通税と同程度の年間徴収額となる。収支計算のケース 2,3 で分析した一人当たり 4,500 円の税額の場合、年間の税収額が 135 億円となり、表 4.3-7 中の核燃料税を定める 10 県合計税収の次に高額の税収となる。

年間想定需要は 300 万人であるが、子どもやシニア、障がい者、県民割等で支払いをしない利用者も一定数含まれることが想定される。もしその割合が 2 割の場合、一人当たり 100 円の場合税収額は 2.4 億円、ケース 2,3 の一人当たり 4,500 円の場合は 108 億円となる。

表 4.3-8 年間税収ライン

想定税額	年間税収 (支払者 300 万人)	年間税収 (支払者 240 万人)
100 円/人/回	3.0 億円	2.4 億円
500 円/人/回	15.0 億円	12.0 億円
2,500 円/人/回	75.0 億円	60.0 億円
4,500 円/人/回	135.0 億円	108.0 億円

出典：受託者

4.3.3. 軌道運送事業者からの貸付料

軌道運送事業者は軌道整備事業者の施設を借りて運行を行うため、その貸付料を支払う必要がある。過年度調査に準じ、収支分析では収益の 30%を軌道整備事業者に支払うことを前提とした。

ここで、宇都宮 LRT 事業の事例についてまとめる。宇都宮ライトレール(株)の「2023 年度決算(概要)について」によると、2023 年度の鉄道事業営業収益の実績は 739,165 千円、その他事業営業収益は 55,343 千円、合計収益が 794,508 千円となっている。また、宇都宮市 LRT 管理課への問い合わせによると、2024 年度の施設貸付料の予算額は 75,786 千円とのことであった。合計収益の概ね 10%が軌道整備事業者である宇都宮市に支払われていることが分かる。

富士トラム事業における貸付料については、軌道運送事業者と協議して決定することとなる。

4.3.4. 軌道運送事業者としての利潤配当

軌道運送事業者には一定の利潤が期待されている。多くの鉄道・交通事業者はその利潤を翌年度に再投資(繰越)することが多いが、利潤を配当として投資先に還元することも可能である。得られる配当は投資割合や配当方針に準ずることになる。

例えば、宇都宮 LRT 事業については、配当は行っていないが、事業実施体制は富士トラム事業に参考となる。宇都宮 LRT 事業の軌道整備事業者は宇都宮市と芳賀町である。軌道

運送事業者は宇都宮ライトレール(株)という民間企業が担っており、その民間企業への出資は、宇都宮市が 40.8%、芳賀町が 10.2%の合計 51%を出資している。軌道整備事業者が軌道運送事業者を兼ねる事例ではあり、富士トラム事業においても軌道整備事業者である山梨県が軌道運送事業者に出資をしてその利潤配当を得ることも可能である。

4.3.5. 商業開発

麓駅および五合目駅周辺の県有地を活用した商業開発が期待されている。PFI法に基づき、民間の資金、経営能力及び技術的能力を活用して公共用地等における商業施設等を整備することが可能である。コンセッション事業契約に基づき、土地保有者である県はコンセッション事業運営権対価もしくは借地権料を得ることができる。

令和五年度調査の分析によると、県が得られる想定収入は、地代 2.7 百万円、固定資産税 106.2 百万円の合計 109 百万円となる。これとは別に市は都市計画税 22.7 百万円の収入がある。具体的な金額等は民間事業者との協議による。

4.3.6. エネルギー売価

エネルギー売価については、交通事業の動力源は電力と水素を想定しており、その供給元が決まっていない。山梨県は水力発電や太陽光発電を積極的に推進しており、その電力を電力事業者に売電している状況である。水素や燃料電池については、水素・燃料電池関連の研究開発拠点などが山梨県に集積している優位性を活かし、積極的に整備・活用を推進している。産業振興の柱として、イノベーション、インキュベーション、インテグレーション、インヴィテーションの四つの柱を掲げており、これらの取組の一環として、交通事業の動力源として県産のクリーンな電気や水素・燃料電池を活用することも想定される。エネルギー売価は交通事業や開発事業と比較すると低いが、環境負荷低減や産業振興の一助として本事業に活用できると考えられる。

5. 課題認識の共通化

【技術面での課題】

- ▶ 低温、特に氷点下の状況では蓄電池の性能劣化や寿命短縮となるため、初期搭載容量への配慮が必要である。
- ▶ 日本の鉄道車両では、最高運転速度から摩擦ブレーキによる停止性能が必要である。富士スバルラインは平均 55%の勾配が連続しており、下り坂におけるブレーキ性能として摩擦ブレーキの発熱を受け入れ可能なブレーキ熱容量が求められる。

【運用面での課題】

- ▶ 富士トラム車両が特別仕様となり、十分な市場規模がない場合には、各種部品や車体の交換時期に、部品や車体の調達が困難となる可能性がある。

【法的・制度面での課題】

- ▶ 富士トラムでは、磁気マーカまたは白線によって車両を誘導することを検討しているが、車両が常に導かれる形態でない場合は軌道法が適用されない可能性があるため、軌道法の適用に向けては車両を含めたシステム全体の性質及び取扱いを踏まえて更なる検討が必要である。
- ▶ 富士トラム車両は日本国内では未だ導入された実績がない車両である。そのため、安全の確保など軌道法の適用に向けた様々な検討が必要である。
- ▶ 自動車と扱い道路運送法を適用する場合、特殊な車両として扱われるため各種手続きが必要になる。

【事業実施面での課題】

- ▶ 軌道および大規模な電力設備が不要な富士トラム車両を導入することにより、インフラ部分の負担が軽減されるため、民間の関与を強くする実施方式が考えられるが、負担割合は民間事業者とともに検討する必要がある。
- ▶ 民間が需要リスクを負う場合、年間を通じて安定的に運行できるかが経営資源の平準化のため重要である。