



# 富士山新交通システムに係る 令和6年度調査検討結果報告



# 比較検討する交通システムの整理

現時点で考えられる全ての交通システムは下図のとおり

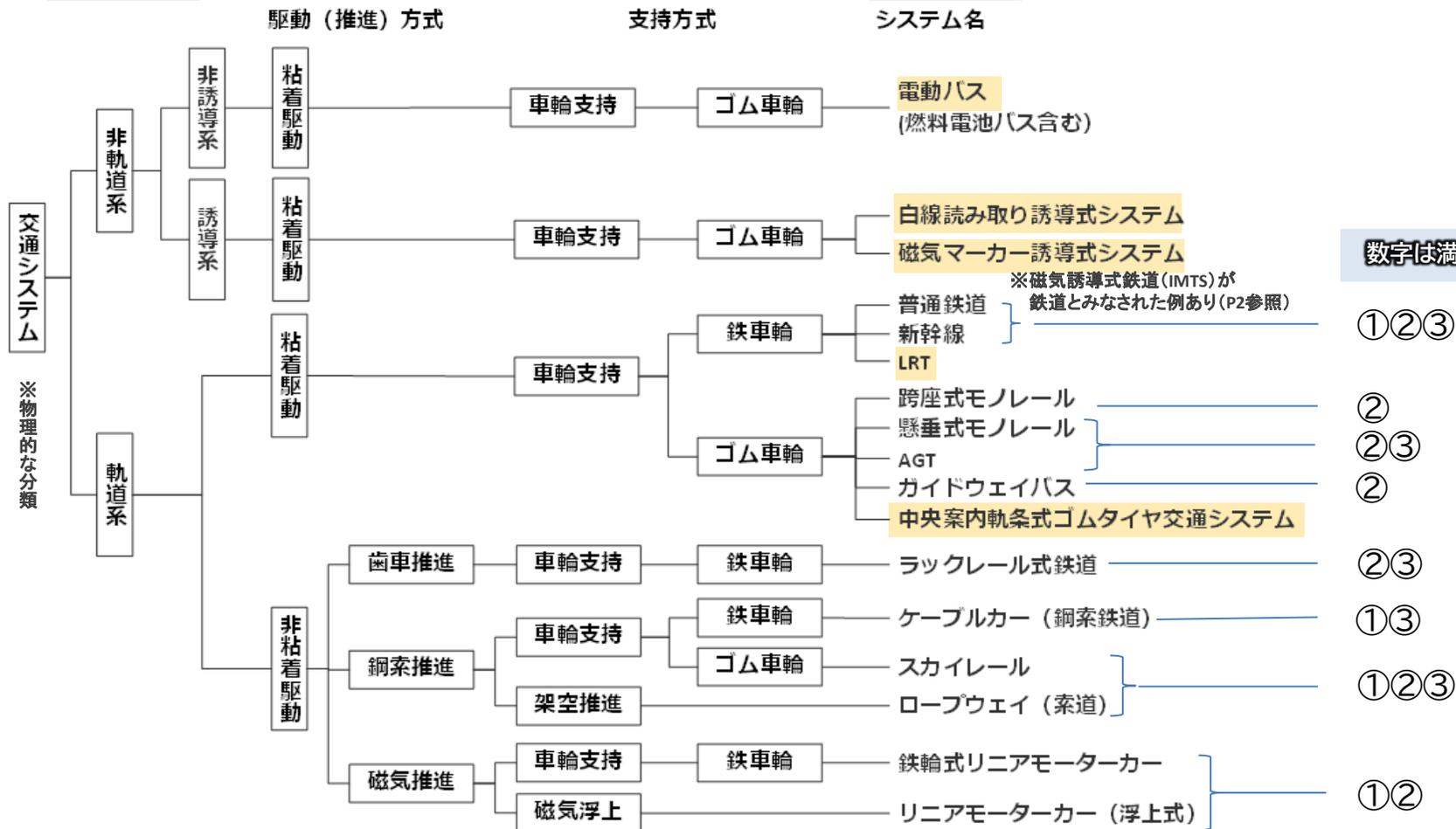
富士スバルラインにおいて最低限必要な4つの条件に照らすと、交通システムは5つに絞られる

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



数字は満たしていない条件

# 各交通システムの概要

5つの交通システムの概要は次のとおり

	LRT	中央案内軌条 (トランスロール)	富士トラム		バス
			磁気誘導	白線誘導	
					
誘導方式	鉄軌道	鉄軌道	磁気マーカ 物理的なレールがない	白線	なし
支持方式(車輪)	鉄車輪	ゴム車輪	ゴム車輪	ゴム車輪	ゴム車輪
動力源	電気	電気	電気・水素	電気・水素	ガソリン・電気・水素
制御方式	中央制御	中央制御	中央制御	中央制御	個別運転
特徴	<p>旧来の路面電車に比べ、総合的に高質化された路面電車</p> <p>低床化によりバリアフリーを実現</p> <p>宇都宮や富山で実例あり</p>	<p>中央にある鉄レールによって誘導され、ゴムタイヤで走行する低床車両フランスなどで実例あり国内での試験事例あり</p>  <p>レールを捉える構造</p>	<p>路面に埋設または貼り付けた磁気マーカの信号を読み取って車両が走行</p> <p>日本では2005年の愛知万博で施設内交通としてIMTSが運行された</p> <p>GNSS やLiDAR システム、走行試験の機械学習と併用し、白線等のみに頼らない走行が可能</p>	<p>路面上の白線を光学的に読み取って走行</p>	<p>5つの交通システムでは最も輸送能力が低い一般的な単車走行以外に連節、隊列による走行方式がある</p>

# 交通システムの比較

5つの交通システムを比較検討した結果、磁気マーカ誘導方式を用いる富士トラムが優位と判断

	LRT	中央案内軌条 (トランスロール)	富士トラム		バス
			磁気誘導	白線誘導	
輸送力・ 居住性・快適性	ゆとりある座席配置が可能。1編成あたりの輸送力が高い (120座席/2編成連結、124m <sup>2</sup> )				LRTと同程度の居住性を求めると輸送力が大きく劣る (連節バス:33~58座席/編成)
安全性	急曲線急勾配では摩擦調整剤の散布を要する	自動運転のため運転手の技量に左右されず安全性が高い		自動運転が可能だが、悪天候時・積雪時には他のシステムの併用が必要	自動運転が普及するまでは運転手の技量に左右される
緊急時対応	緊急輸送人数多数 双方向運転により速やかに切り返し可				緊急輸送人数少数、スバルライン上でのUターン困難
導入費用	鉄レールの敷設に費用を要し、一般的に30~40億円/kmのコストが生じる 地形等の要因により増減あり		鉄レールの設置が不要なため、LRTほど大規模な費用を要しない 車載電源によりイニシャルコストの圧縮が可能		既存の走行空間を活用する場合、車両費用のみ
維持管理費用	車両の耐用年数は長い 軌道などの設備一式のメンテが必要		軌道がないことから設備維持の負担が少ない上、バスに比べて車両の耐用年数が長い		軌道がないため設備維持の負担は少ないものの、車両の耐用年数が短い
拡張性	鉄レールの敷設を要するため 拡張が容易とはいえない		既存道路上に磁気マーカ / 白線を設置するのみのため拡張が容易		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加減速の制御が容易			
省人力化	1編成あたりの輸送力が大きいため、省人化・運行車両数の縮減が可能 レールに沿って走行するため自動運転の導入が容易				多くの運行本数が必要となり、運転手確保が困難
来訪者 コントロール	軌道法の適用により道路交通法による通行制限が可能 事業者が運行本数を決定することで、適切な来訪者数のコントロールが可能				道路交通法による通行の制限ができない
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)であり、先進性・話題性を有する		連節バスは先進性に欠ける。行列は実験のみで国内外の社会実装無し	

# 富士トラムの要素技術

富士トラムを構成する各要素技術は次のとおり

- 凡例 ①特徴  
②国内技術

## 白線読取

- ①カメラで白線を読み取り誘導運転
- ②自動車のレーンアシストで実装済み



## 連節車体

- ①3車体30mを想定・耐用年数30年
- ②宇都宮LRTで実績あり

## 屋根上機器

- ①耐寒・耐雪性能
- ②北海道など寒冷地で実績あり

## 燃料電池による架線レス運転

- ①高圧水素タンク・燃料電池スタック・バッテリーモジュールを屋根上に実装可能
- ②国内でも燃料電池自動車・バスの実績あり

## 双方向運転

- ①災害時にも速やかに折り返し運転可能
- ②各鉄道車両で実績あり

## 磁気マーカ読取

- ①センサで磁気マーカを読み取り誘導運転
- ②日本各地で実証実験中

直径3cm



## 低床車体

- ①バリアフリー  
積雪は、白線や磁気マーカを活用した自動運転除雪機等による除雪で対応
- ②宇都宮LRTで実績あり



## ゴムタイヤ

- ①レールの敷設を必要としない
- ②冬季対策も含め国内メーカー開発可能

## 連結運転

- ①ソフト連結・ハード連結
- ②ソフト連結はIMTSで実績あり

## 走行性能

- ①最小曲線半径15mを通過可能・最大勾配130%・最高時速100km/h
- ②全輪操舵の技術は自動車の四輪操舵技術の応用が見込める

# 動力源の比較

- ①蓄電池／キャパシタ(出力調整・回生エネルギー活用が可能)
- ②燃料電池(水素を利用、充填時間が短い)
- ⇒①及び②を車両に搭載・併用することが効果的

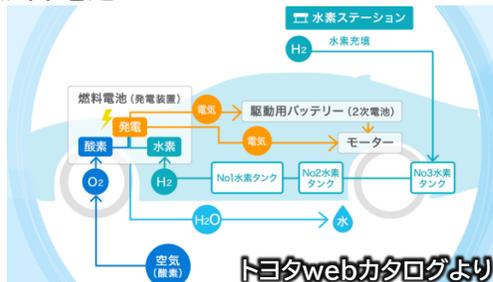
走行中の外部給電設備が不要であり、費用の抑制にもつながる

方式	走行距離	冬季対応	実現性
1)蓄電池	往復には支障なし	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ものの、単体での運用にあたっては給電時間の短縮が求められる 燃料電池との併用が考えられる
2)燃料電池	往復には支障なし	低温下は始動前の予温が必要	下り坂の回生エネルギーを活かすためにはバッテリー搭載が求められる 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
3)水素エンジン	往復には支障なし	低温下での走行実証が必要	出力の調整はしやすいものの、下り坂の回生エネルギーを活かすためにはバッテリー搭載が求められる 燃料電池よりも開発が遅れているため技術の進展を待つ必要がある
4)キャパシタ	途中での充放電が必要	低温下での走行実証が必要	充放電が早く、繰り返しの使用に耐えるため、都市部における頻回充電に特に向いている 体積あたりの容量が蓄電池より小さいため、走行距離の詳細検討が必要 燃料電池との併用が考えられる

**蓄電池(もしくはキャパシタ) + 燃料電池を搭載**することで出力調整、回生エネルギーの有効活用が可能となる

燃料電池の特性： ①化学反応に依存するため急激な出力変化に対応できない ②燃料電池自体へのエネルギー充電ができない

## 燃料電池のイメージ



### 燃料電池

水素と酸素を装置内で化学反応させることで電気エネルギーを得る

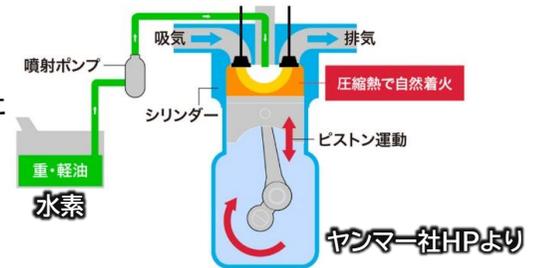
どちらも水素を使うが原理は異なる

### 水素エンジン

水素に着火し、膨張した気体によってピストンを動かす

## 水素エンジンのイメージ

(基本的な構造はディーゼルエンジンと類似)



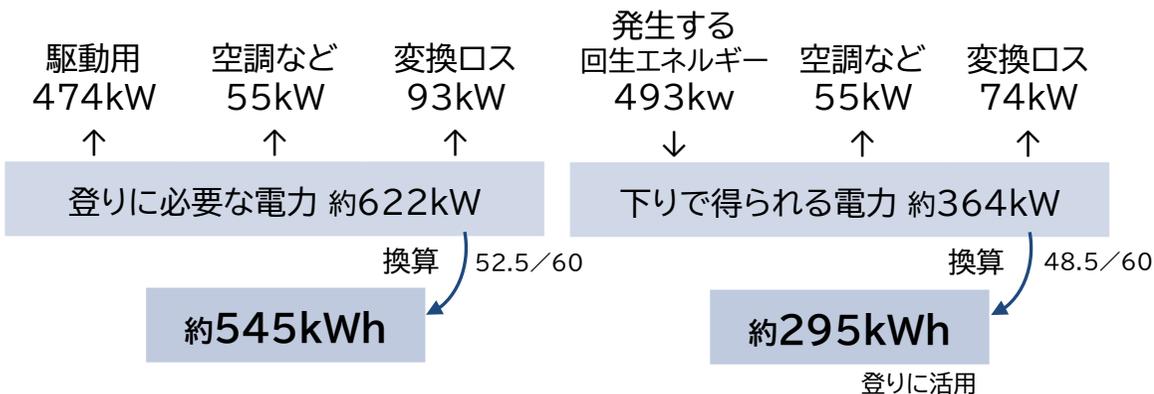
# 消費電力から見た富士スバルラインの走行可能性

富士スバルラインの往復に必要な消費電力を供給できる燃料電池等の搭載が可能

## スバルラインの走行に求められる電力および電力量

算定条件	平均登坂勾配	55%
	平均速度	登り 31.7km/h 下り 34.3km/h
	走行時間	登り 52.5分 下り 48.5分
	2編成の重量	82.26t (120+1名乗車)

そのほか、勾配や摩擦などの影響を考慮



蓄電池のみを搭載する車両  
 ⇒ 545kWhの蓄電池を搭載

蓄電池と燃料電池を併用する車両  
 ⇒ 295kWhの蓄電池 ・ 250kWhの燃料電池を搭載  
 (水素25.9kg)

## 富士トラムへの機器搭載

蓄電池と燃料電池を併用する車両(2編成6両)について  
 蓄電池や燃料電池の搭載可能容量を計算  
 ⇒ いずれの装置も屋根上部のスペース内に収まる

### 蓄電池

295kWh : 低温時の性能低下などを踏まえ512kWhの搭載が必要  
 4両で搭載可能な蓄電池は880kWh ⇒ **OK**

### 燃料電池

水素25.9kg : 480Lのタンクが必要(70MPa、最高気温35℃)  
 2両で搭載可能なタンクは8本(260L/本)=2,080L ⇒ **OK**  
**無補給で4往復可能**



2.5m×3mのスペースを有する各車両屋根に蓄電池を4両、水素タンクを2両分設置する想定

# 自動運転の実現可能性

鉄道系・自動車系それぞれにおいて自動運転のレベル分けがされている  
 山間部の運行であり、災害・緊急時への対応に備え、係員の添乗が望ましい  
 ⇒GOA3やレベル3に相当する条件付き自動運転の導入が考えられる

形態	鉄道系	自動車系
運転自動化なし	GOA0：目視運転 GOA1：非自動運転	レベル0：自動運転機能なし -
運転支援	GOA2：半自動運転、列車軌道やドア扱いを行う 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 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：先頭以外に係員が乗務、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	- GOA4：係員の乗務なし	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 レベル5：条件なしで全運転操作を自動化

白線読取 / 磁気読取  
 ともにLiDARやGNSS  
 などを併用し安全を確保



磁気マーカの例 愛知製鋼株式会社HPより



表面設置型  
 直径10cm、厚さ3.5mm  
 設置場所の変更が容易



埋設型磁気マーカ  
 直径3cm、厚さ2cm  
 道路に埋設するため丈夫

# 冬季対応

冬季での運行に求められる積雪・低温への対応策は複数の方策が考えられる  
除雪車の自動運転化など対応を充実させることで現在以上の富士スバルラインの営業日数の増加が見込める

## 積雪対応

### ■ スタッドレスタイヤの装着

頻繁なタイヤ交換を避けるため、雪上走行を前提にしたタイヤでの通年走行も選択肢の一つ

### ■ 除雪車の自動運転化

- 磁気マーカを除雪車の自動運転化に活用
- 省人力化を実現し、頻回の除雪を可能とする
- 国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所は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実施している



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

## 低温対応

### ■ 車載システムへの影響

#### 蓄電池・キャパシタ

- 10℃環境下では常温時と比較し約2割低下  
⇒ 低温時の走行を前提にした積載容量を決定

#### 燃料電池

- 化学反応によるエネルギー生成であり、低温下では発電効率が低下するが、発電の副反応として熱が出ることから走行に大きな支障は生じない
- 燃料電池車の開発にあたって-30℃での走行実験を行っており、耐寒性能の実証あり



#### 他の電装品の耐寒性

- 冬季の北海道など寒冷地での使用実績あり
- 20℃までは標準的な機器でも対応可能

### ■ 燃料電池における生成水の凍結対応

- 燃料電池は化学反応の過程で水を生成
- 生成量は1kmあたり60ml(燃料電池搭載の自動車の例)
- 車載タンクに水を貯め、意図的もしくは駐車時に排出するか、水蒸気として排出
- 化学反応でエネルギーを生み出す際に熱が出るため、その熱を予熱に活用することで凍結を防ぐことが可能

# 富士トラムの法的検討

スバルラインでの走行は**軌道法**の適用を想定  
 延伸にあたっては、一般交通との併用を見据え、**道路運送車両法**の適用も考えられる

	麓～五合目	麓～県内
車両に適用される法律	軌道法	道路運送車両法
根拠	<ul style="list-style-type: none"> <li>特殊鉄道に関する技術上の基準を定める告示 第7条 「磁気誘導式鉄道…」 磁気マーカはレールとみなされる</li> <li>道路交通法 第21条第1項 「車両は…軌道敷内を<b>通行してはならない</b>」 来訪者コントロール可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>道路運送車両法 第2条第2項 「…「自動車」とは…軌条若しくは架線を用いないもの…をいう。」 富士トラムは自動車とみなすこともできる</li> <li>道路法 第2条第2項 「…「道路の附属物」とは…次に掲げるものをいう。…五 自動運行補助施設(…自動車の自動的な運行を補助するための施設…)」 磁気マーカはレールとみなさないこともできる</li> </ul>
県の考え	<ul style="list-style-type: none"> <li>常に磁気マーカや白線により車両が軌道敷内で誘導されていれば<b>軌道法の適用可能性あり</b></li> <li>上記告示により運行したIMTSは鉄道事業法だが、軌道法の技術的規定は鉄道事業法を多く参照しているため、準用可能性あり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>磁気マーカや誘導線は、道路法上は自動運行補助施設として道路の一部に位置づけられており、必ずしもレールとみなされるわけではない</b></li> <li>同じ運行方法(磁気マーカーを使用した運行)であっても、<b>スバルラインと麓の運行で適用法を変更することは可能</b></li> <li>富士トラムの車両構造は道路運送車両法第40条に適合していないが、道路運送車両の保安基準第55条により<b>基準緩和の可能性あり</b>(道路管理者、警察の許可は別途必要)</li> </ul>

# 富士トラム導入に係るコスト試算

スバルラインにおけるLRTとの比較

富士トラムは導入コストを大幅に圧縮することが可能



費用内訳	単位: 億円 (税抜)	LRT	削減率	富士トラム	備考	EVバス
付帯構造物		30		30	擁壁などの整備を想定し、同額を仮置き	30
軌道(レール)		340	99%削減	3	磁気マーカを敷設する想定での算定(400万円/km) 白線と比べ単価が高いものの、レールより安価で大幅に費用が削減	0
軌道付加物		120		120	ロードヒーティングの敷設を想定し、同額を仮置き	120
駅		80	54%削減	37	中間駅の簡易的なもので済むため費用が大幅に削減	37
電力施設		300	94%削減	18	水素ステーションの設置費用を計上 沿線における大容量送電設備が不要なため費用が大幅に削減	6
通信設備		80	63%削減	30	現在導入を進めているマレーシアの事例をもとに計上 車両間の通信や指令室、料金収受システムの構築を想定	0
車両		180		171	富士トラムは3車体1編成を2連結することを想定(40編成購入) 1編成の構成を5車体にする事で更なる費用圧縮が可能	78
車両基地		50		50	同額を仮置き	50
交通結節点整備		45		45	同額を仮置き	45
走行路面整備		15		14	LRTはレール敷設後の路面復旧費 富士トラムはコンクリートによる走行路面の補強費用を計上	0
ライフライン整備		100		100	五合目まで共同溝を整備した場合の金額 同額を仮置き	100

# 富士トラム導入に伴う年間維持コスト試算

スバルラインにおいてLRTと同様の運行を前提とした場合

年間維持コストは下表のとおり  
水素のコストは将来的に低減する展望

費用内訳 単位:億円(税抜)	LRT	富士トラム			備考	〈参考〉 EVバス
		(水素) 現在	(水素) 2030年	(EV)		
人件費	9.3	9.0	9.0	9.0	(参考)EVバスは必要運行本数が多いことから人件費がかかる	30.0
修繕費	6.9	3.0	3.0	3.0	LRTは鉄レールの修繕費がかかる	3.2
動力費	2.4	22.9	11.8	3.0	「現在」の水素単価は963円/kgで試算 (第2回モビリティ水素官民協議会(2022年10月5日)の単価) 「2030年」の水素単価は334円/kgで試算 (水素基本戦略(2023年6月6日 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議)の目標値)	4.4
その他 経費	14.1	14.1	14.1	14.1	動力源や交通システムに関わらず必要な営業経費であるため同額	14.1
計	32.7	49.0	37.9	29.1		51.7