

2019年2月8日ストップ・リニア訴訟第13回裁判

裁判説明会後の講演会「リニア新幹線：限界技術リスク」阿部修治さん

はじめに

限界技術

限界を追及するチャレンジが成功して素晴らしい社会的価値が得られる可能性もある。失敗はつきもの。
失敗を認めず突き進めば、限界まで無理を重ねる技術となり、社会的に大きな損失(場合によっては災害)につながる。

成功と失敗の差はどこから生じるか
開発段階では紙一重 → 見極めを誤ると大きな差に

成功する技術	センスが良い	協力が広がる	柔軟に発展していく	普及していく
失敗する技術	センスが悪い	単独で無理をする	硬直していく	衰退していく


JR東海リニアはどちら？

1. 磁気浮上 (maglev) 技術の評価

開発の歴史(ドイツ)
1929-30年: 磁気浮上の重要特許 (H. Kemper)
(第二次世界大戦のための開発中断)
1952年: 実用的システム設計
1960年代~: 複数の企業で本格的な研究開発
1970年代~: 実用化方式一本化、エムスラッド実験線(30km)
「トランスラビッド」1983年300km/h、1989年450km/h

もともと困難な技術である

1980年代に技術的に完成



1982年 国鉄計画正式決定(ベルリン-ハレ線)

磁気浮上式鉄道:ドイツと日本

システム	トランスラピッド	JRリニア	HSST
開発主体 開発時期	ドイツ企業連合 1960頃～1990頃	旧国鉄/JR東海 1960頃～現在	運輸省/日本航空 1960頃～1980頃
計画速度	400-500 km/h	500 km/h	100～200 km/h
磁気浮上方式	吸引式(常伝導電磁石と鉄レール)	誘導式(超伝導磁石と常伝導ループコイル) 低速・停止時は車輪支持	吸引式(常伝導電磁石と鉄レール)
案内方式	吸引式(常伝導電磁石と鉄レール)	浮上と兼用 低速・停止時は車輪案内	浮上と兼用
推進方式	地上一次リニア同期モータ (常伝導コイルと常伝導電磁石*) *浮上と兼用	地上一次リニア同期モータ (常伝導コイルと超伝導磁石*) *浮上案内と兼用	車上一次リニア誘導モータ (常伝導コイルと鉄レール)
ギャップ長	約 10 mm	約 80 mm	約 10 mm
車上電磁石	分散配置	集中配置	分散配置
実施状況	上海磁浮列車 (29.9 km)	山梨実験線 (42.8 km)	名古屋リニモ (8.9 km)

内方式	吸引式(常伝導電磁石と鉄レール)	低速・停止時は車輪支 浮上と兼用 低速・停止時は車輪案
進方式	地上一次リニア同期モータ (常伝導コイルと常伝導電磁石*) *浮上と兼用	地上一次リニア同期モータ (常伝導コイルと超伝導電磁石*) *浮上案内と兼用
ギャップ長	約 10 mm	約 80 mm
上電磁石	分散配置	集中配置
施状況	上海磁浮列車 (29.9 km)	山梨実験線 (42.8 km)

しかし2000年代に退潮が明確に

- 2000年ドイツ: ベルリン～ハンブルグ間トランスラピッド計画断念
(理由は経済性と利便性)
- 2003年 中国: 上海磁浮列車(30km)開業、最高速度430km/h
- 2006年ドイツ: 実験線で衝突事故: 23人死亡
- 2006年 中国: 上海磁浮列車の車両火災事故
- 2008年ドイツ: ミュンヘンのトランスラピッド計画中止
- 2008年 中国: 上海で住民の反対デモ、その後、上海磁浮列車の延長計画は事実上中止
- 2011年ドイツ: 実験線閉鎖



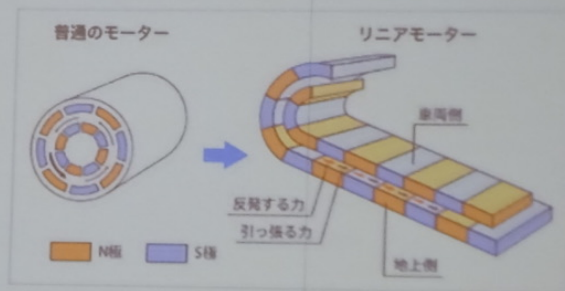
上海磁浮列車 →
並列単線で2本の列車のみ運行

普及しなかった最大の理由:コスト

トランスラピッドは従来の鉄道より低いコストを目指していた。

実現できなかった根本的理由は？

- ①建設コスト: リニアモーター独特のコスト
地上側全線に電磁石コイルを敷き詰めなければならない。
しかもミリメートルの精度が要求される。
- ②運行コスト
大きな電力消費
(後述)

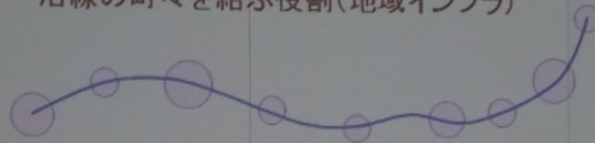


<https://linear-museum.pref.yamanashi.jp/kids/mechanism.html>

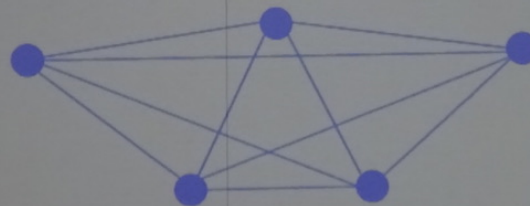
2. コンセプトの限界

なぜ「夢の技術」は普及しなかったか

- 鉄道とは: 人々の住む地域を線に沿って結ぶ
沿線の町々を結ぶ役割(地域インフラ)

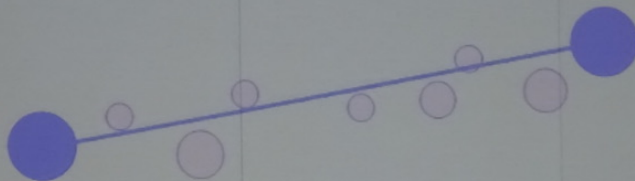


- 航空機とは: 遠く離れた地域を点と点で結ぶ
線路を必要とせず、多様なネットワークの構築が可能



リニアとは？

- 人々の住む地域を無視して2点間を結ぶ
→通過する地域にとって利便性のない迷惑施設
→住環境破壊、自然環境破壊
- 航空機に比べて建設コストが高く、ネットワーク柔軟性にも欠ける。

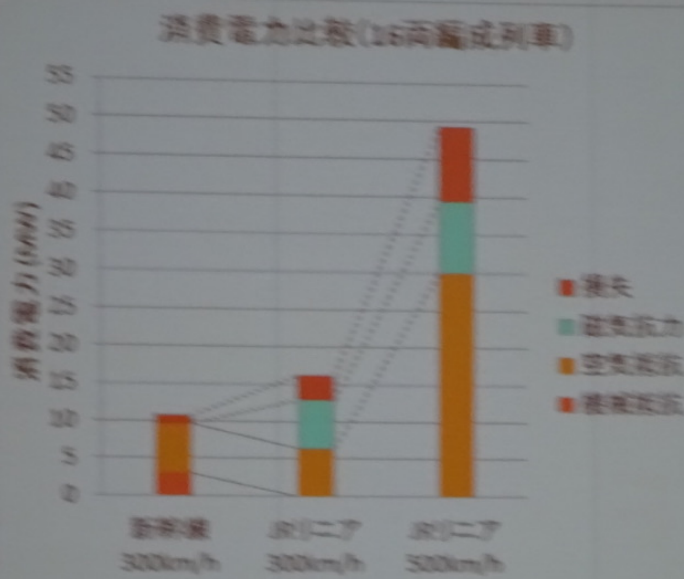


輸送機関としてのコンセプトに限界がある。
日本でも東京～大阪間以外に展開できる見込みはない。
海外でも採用されるとは思えない。

(1) エネルギー消費が過大

消費電力は新幹線の約4倍

阿部(2013)



省エネルギー化は可能か？

- 空気抵抗：
高速鉄道の車体形状の改良は、新幹線などですでに限界に近い。
(リニア車両は当初は円形に近い断面であったが、客室の狭さから正方形に近い形に戻している。)
- 磁気抗力およびエネルギー損失：
全線のガイドウェイに設置するリニアモーターの規格を一旦決めると、エネルギー性能がほぼ決まる。
1980年代に山梨実験線で採用したコイルの規格に縛られて変えられない。

全線単一モーターという技術の硬直性

(通常の鉄道では車両に搭載されるモーターの改良が進む。)

11

(2)騒音・振動が過大

騒音

- 時速100km以上の高速走行では「空力騒音」が支配的
(空気抵抗のエネルギーが空気の振動に)
- 空力騒音: 速度とともに急激に大きくなる。
音の強さ(音波エネルギー: 音圧の2乗に比例)
双極子音源(物体面での圧力変化による)では速度の6乗に比例
(速度が2倍で64倍、騒音レベルで18デシベル増加)
四重極子音源(渦から発生する音)では速度の8乗に比例
(速度が2倍で256倍、騒音レベルで24デシベル増加)
- 騒音の発生源は車体の各部の凹凸
(車両端、台車、車輪、車体下部機器、
ドア、窓、換気口)

時速250kmの新幹線に比べて
約20デシベルの増加になる



図1 340km/hにおけるFASTECH360Sの
車両音源分布測定結果(先頭車両側の一部のみ表示)

宇田他, JR-East Technical Review 40 (2012) 59

→リニア新幹線では、地上部分もほとんど防音フードで覆わざるを得ない。

振動

- 振動の原因
 - 空気圧力変動(騒音と同様の原因)
 - 磁気ばね(浮上、案内)による振動(リニア特有)
 - 列車のすれ違い
- 車体の振動→乗り心地の問題
- 路盤の振動
 - 高架区間での振動の伝搬
 - 地下区間での振動の地上への伝搬:
深さ、地盤、地質、他の地下構造物など、場所によって異なる。

13

(3)誘導浮上コイルの限界

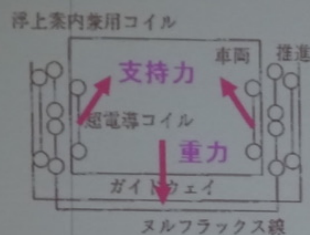


図 12.23 浮上案内兼用方式+推進専用方式

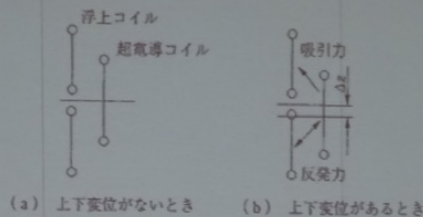


図 12.15 浮上力発生原理 (電気鉄道ハンドブックより)

ヌルフラックス側壁浮上方式: 基準位置より下がると浮上力・案内力が発生

(案内力: 左右のずれに対してガイドウェイの中心に戻す力)

欠点

- 超高速でないと十分な浮上力・案内力が得られない。
 - 逆に磁気抗力が発生し、走行に対するブレーキとして働いてしまう。(低速域で顕著)
- 時速150kmまでは磁気浮上が使えない。

14

浮上案内兼用コイル

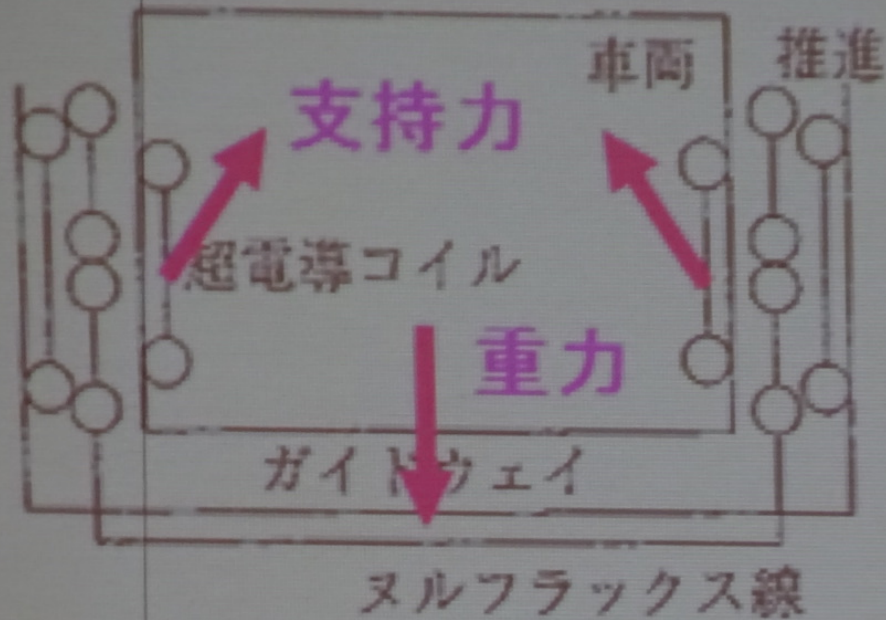
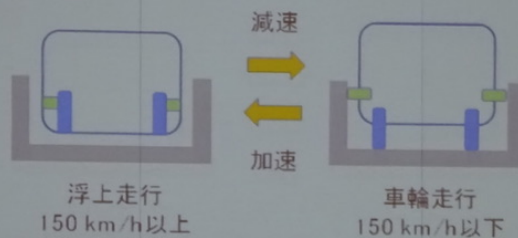


図 12.23 浮上案内兼用方式 + 推進

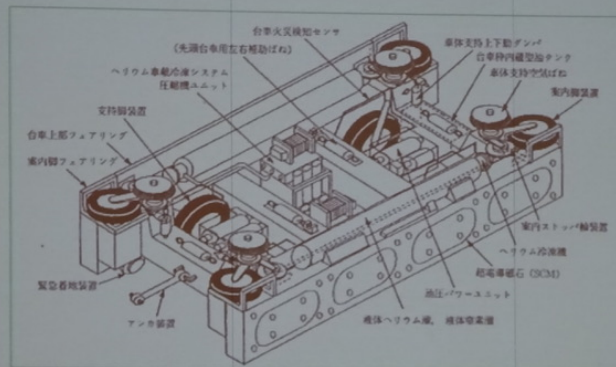
車輪で支えざるをえない

- 時速150kmまでは下に**支持車輪**、左右に**案内車輪**を出して車両を支えるという複雑なシステムを採用。
(比較:トランスラピッドは吸引式で常時浮上できるため、このような機構を必要としない。)
- 高速走行時のほうが車体が沈み込む設計のため、加速に伴い車輪を**格納**しなければならない。
- 減速の際には車輪を出して車体を持ち上げる(浮上コイルからの浮上力・磁気抗力を受けない高さまで)。



JRリアの台車

- 各台車に**支持車輪4輪**、**案内車輪4輪**
- 支持車輪: 直径86cmの大型ゴムタイヤ(新幹線の車輪と同じ大きさ)、1輪あたり5トン以上の重量を支え、持ち上げる。
- 加減速の度にすべての車輪の出し入れという機械動作
- 一定の故障の確率は避けられない。



(4)磁場の影響

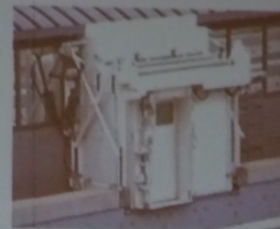
- 超伝導磁石による非常に強い磁場(磁界)
 - 超電導磁石は鉄心がないので、**磁力線が外に広がりやすい。**
 - 磁石からの距離の2~3乗に反比例して磁場は小さくなるが、近距離では**磁気シールド**が必要。

金属の鉄などを強い力で引きつける

- **非常停止・避難時**に人が台車に近づく可能性
- 超伝導磁石を励磁した状態で点検できない。
- 路面に工具や金属片などが落ちていたら吸いつけてしまう → 大事故のもと

車両端(台車)付近で強い

- すれ違い時の対向列車からの振動磁場
- 地上コイルからの振動磁場
- 特に、長時間影響を受け続ける乗務員(ほとんど乗っていないのかもしれないが)



山梨実験線の搭乗口



医療用MR装置



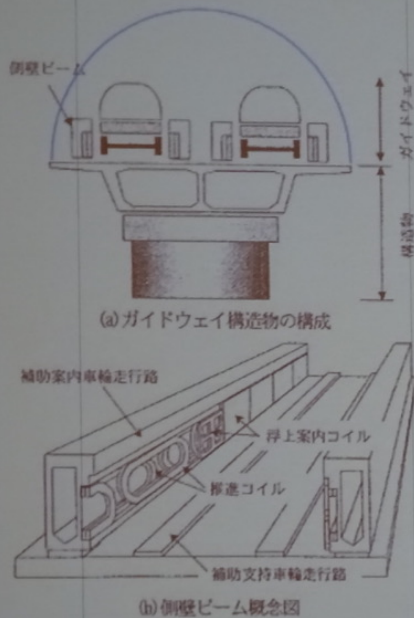
医療用MR装置

- 磁場と生物の相互作用
 - 生きたカエルも強磁場中で浮上する → (2000年イグノーベル賞)
 - 水のもつ反磁性という性質による
- 健康影響は？
 - 磁場の人体への影響は解明されておらず、しきい値は確立されていない。
 - 変動磁場は体内に誘導電流を発生する
 - 神経や脳の活動にどう影響するか不明



カエルの磁気浮上
(Wikipediaより)

(5)ガイドウェイ方式の問題点



・脱線の心配が少ないという意味はあるが、コスト高の一因。
(トランスラピッドはモノレール方式)

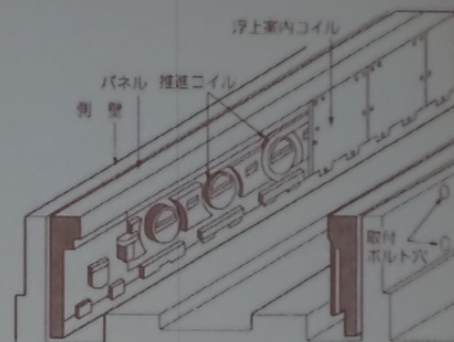
・もし障害物と衝突したとき、分裂した障害物の破片がガイドウェイ内部の車両下部に巻き込まれやすく、車両の2次的・3次的な損壊から大事故に至るリスクもある。

・経年劣化や地震などにより、ガイドウェイ自体が損壊して障害物と化すリスクもある。

ガイドウェイ内の可燃物

コイル(導体)はアルミニウム
側壁はコンクリート
それ以外はプラスチック
(コイルを埋め込む材料、全体を覆うパネルなど)

材料:樹脂モールド、繊維強化プラスチックなど



- ・ 難燃性プラスチックとはいえ可燃物である。
- ・ 火災が初期消火できなかつた場合に延焼や有毒ガス発生の危険性がある。
- ・ 特にトンネル火災の危険性(従来の鉄道トンネル内にはこれほど大量のプラスチックは使用されていない)

4. 単独技術というリスク

- 技術競争がない
- 大量普及によるコストダウンも期待できない
- 航空機のような経験の蓄積がない
- 安全基準が定められていない
- 秘密主義(非公開技術が多い)
- 公共輸送機関という公的認識の欠如
(住民の納得なき建設強行)

5. 事故のリスク

- 地上で時速500km --- 事故の場合の衝撃力は？
- 衝突時の衝撃力はほぼ速度の2乗に比例。

乗り物	時速(秒速)	風速に対応させると	落下に対応させると
自動車: 一般道路	50 km/h (14 m/s)	やや強い風	10 m (ビル4階)
自動車: 高速道路	100 km/h (28 m/s)	台風: 暴風警報	40 m (12階)
新幹線	200 km/h (56 m/s)	竜巻: レベルF2	160 m (46階)
リニア	500 km/h (139 m/s)	竜巻: レベルF5	1000 m

- 時速500キロで衝突するのは1000mの高さから落ちるのと同じ。
- 時速500キロで走行中ドアを開けたら、最大級の竜巻に巻き込まれるのと同じ。
- リニアのすれ違う対向列車の相対速度は時速1000 km。もし衝突したら衝撃力はさらに4倍に。

絶対安全はない

- 事故は小さな原因から拡大連鎖で起こる
(例:地震による側壁接触→超伝導コイルのクエンチ→浮上力消失...)
- 人為的ミス、プログラムミスなど
(特に遠隔操作における誤動作、異常の見逃しなど)
- 異常時に中央制御室で情報が錯綜し、操作員が対応できない恐れ。

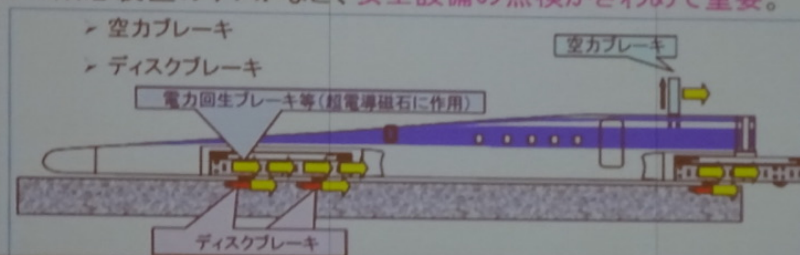
ガイドウェイがあるから安全か？

- 脱線のリスクは減るが、逆にガイドウェイ自身はずかには壊れたり変形したりしても障害物となり、事故の要因となりうる。
- ガイドウェイの可動部(分岐装置)のわずかの誤作動でも大事故につながりかねない。
- ガイドウェイは(レール方式に比べて)障害物に対してはむしろ脆弱。
(障害物としては、軌道・トンネル内の落下物、列車落下物、落石、動物や人の侵入など)

23

緊急ブレーキ

- 時速500キロからの制動停止距離は長い。
- 正常時の減速は地上駆動コイルによる速度制御による。
これは停電時や、列車位置検知が困難になる異常時には使えない。
- 緊急時には「空カブレーキ」による減速後、支持車輪を出してディスクブレーキでさらに減速する仕組み
これらは平常時に使わないブレーキなので、いざという時に正常に作動しないリスクがある。
- 障害物との衝突時など、車輪を出すことが事故を増幅させる可能性も。
- 車輪のディスクブレーキは時速500キロからの停止にも使えるということになっているが、地震などの異常な状況下でうまく機能するか。
- こうした緊急装置のテストなど、安全設備の点検がきわめて重要。



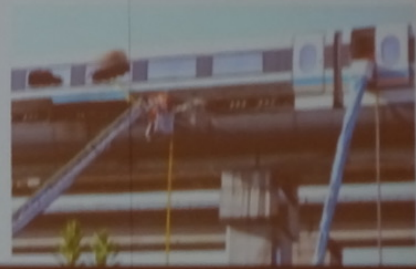
24

6. ほとんどトンネルという限界インフラ

- 山岳国日本で時速500km用の直線路という無理
 - 地理的特性を無視した長大山岳トンネルという無理。
自然環境の破壊。
- 新幹線に比べて、車両の断面積はより小さく、トンネルの断面積はより大きくせざるを得ない。
 - 掘り出す土砂量が膨大になる。
 - 水源への影響も大きい。
- 緊急停止時、事故時に緊急車両のアクセスが困難
- トンネルと断層が近い場所がないか。
- トンネルと地上部分の境目：
地震時の揺れ方の違いでガイドウェイ変形が最も起こりやすい。

トンネル火災のリスク

- 全線の86%がトンネル・地下区間
- 地上区間もほとんどコンクリート製のフードで覆われる
- ターミナル駅は大深度地下
- 「火災時はトンネルを走り抜ける」という原則は無意味
- ガイドウェイ内の可燃物の多さ(前述)
- 山岳トンネルでの多数の乗客の避難の困難さ
- 消防車や救急車などの緊急車両が近づけない場所がほとんど



上海磁浮列車の火災(2006年)→

7. 維持管理と老朽化の問題

- 超伝導コイルと地上コイル：
1両20トン以上の車両の重量を支え、加減速するために大きな磁気力が作用する。
(鉄道車両では鉄の車輪と鉄のレールにかかる力を「コイル」が担う)
- 車両は高速走行により、ガイドウェイは車両が通過するたびに、強い風圧・振動も受ける。
- 強い力を受け続けることによる経年劣化リスク
(超伝導磁石や地上コイルの構造体など)
- 頻繁に出し入れを行う車輪など機械部品の劣化。

安全のため、航空機並みに精密な点検と保守に十分なコストをかける必要がある。

27

結論

- 磁気浮上列車はドイツのシンプルなシステムでもコスト的に見合わないことは30年前に明らかであった。
- 日本は独自技術にこだわったため、さらに複雑で高コストなシステムとなった。
- にもかかわらず、建設を強行決定したため、その後は限界的な無理を重ねている。
- 今後、建設費が大幅に増えたり、建設期間が延びたりする可能性がある。
- それとともに、住環境や自然環境の保全のためのコストや、安全のためのコストが切り下げられる恐れがあり、継続的に監視していく必要がある。

28