２０２５年5月２８日（水）
易しい科学の話

新幹線はなぜ速く走れる？

吉岡　芳夫

高速走行を実現するために、必要なことは

- 動力
- 車輌
- 座席
- 線路
- 運行管理

等を、抜本的に改良することです。

新幹線を動かす電力

- 交流25kVで長距離・大電力を供給
- 列車の上部にあるパンタグラフを通じて、上空の架線（トロリー線）から電力を受け取る。
- 高速走行時でも安定して接触できるよう、テンション（張力）を保つ装置や自動調整機構がある。
- 約40～50kmごとに変電所を配置、セクション分離で障害対策
- 回生ブレーキによる電力の再利用
- 落雷・ノイズ対策も万全

4

。

新幹線の架線は、たるみがあってはならない。
架線の終端には、重しをのせて引っ張っている

車輛高速電車の車両に必要なもの

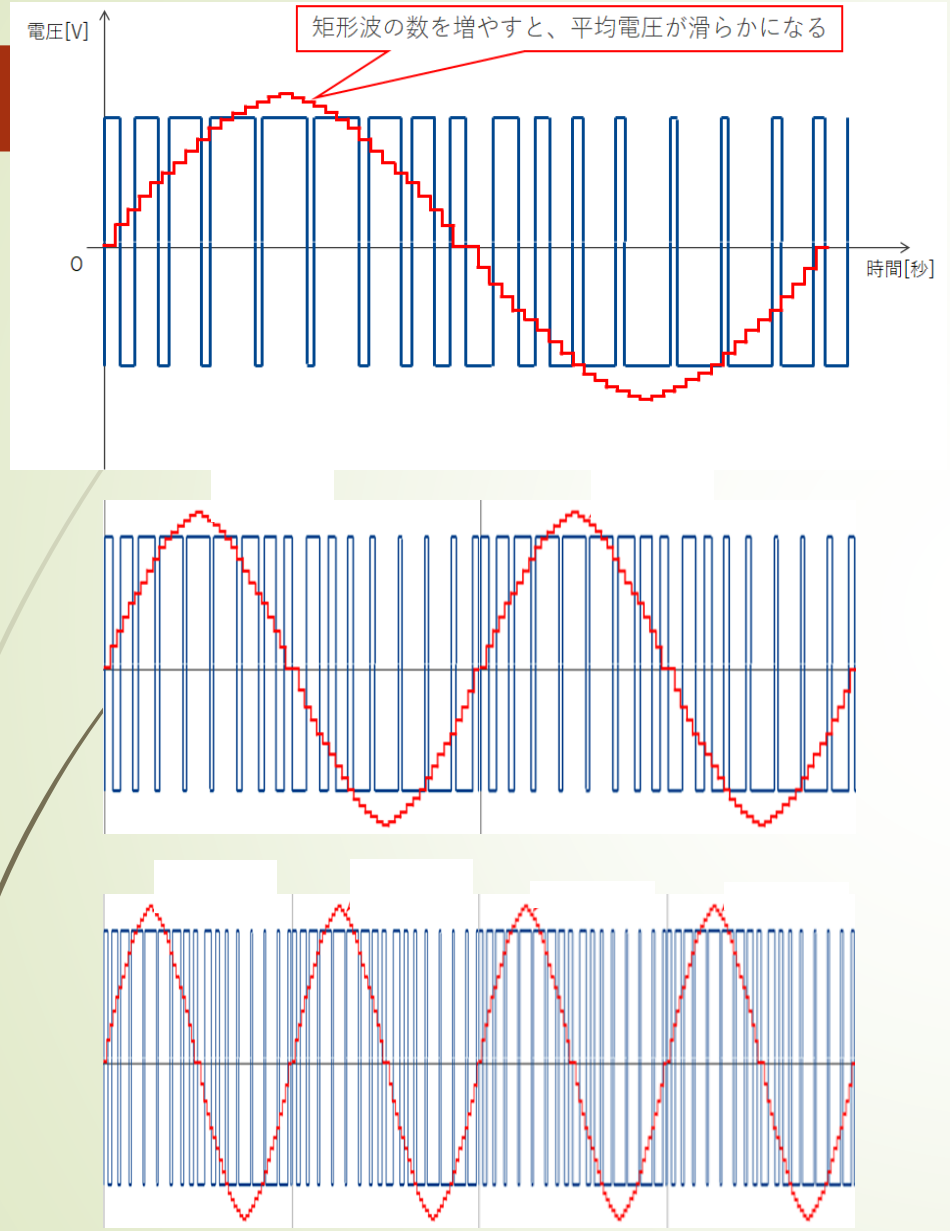
- 原動力としての電動モーター
  - 高速では大きな空気抵抗があるので、強力なモーターが必要。
  - また、モーターは、低速回転から、高速回転まで滑らかに回転スピードを変えなければならない。
  - 回転するスピードと馬力を制御するのは、インバータという装置
- インバーター制御技術（VVVF）
  - モーターの回転スピードは、加える電圧の周波数に比例する。
  - 架線からもらう電気は、６０Hzなど、固定周波数。
  - ６０Hz から、任意の周波数の電気を作るのが、インバーター技術である。

動力

電力の供給

駆動用モーター

周波数可変電力の発生



固定周波数の電気から、任意の周波数の電気を作る方法

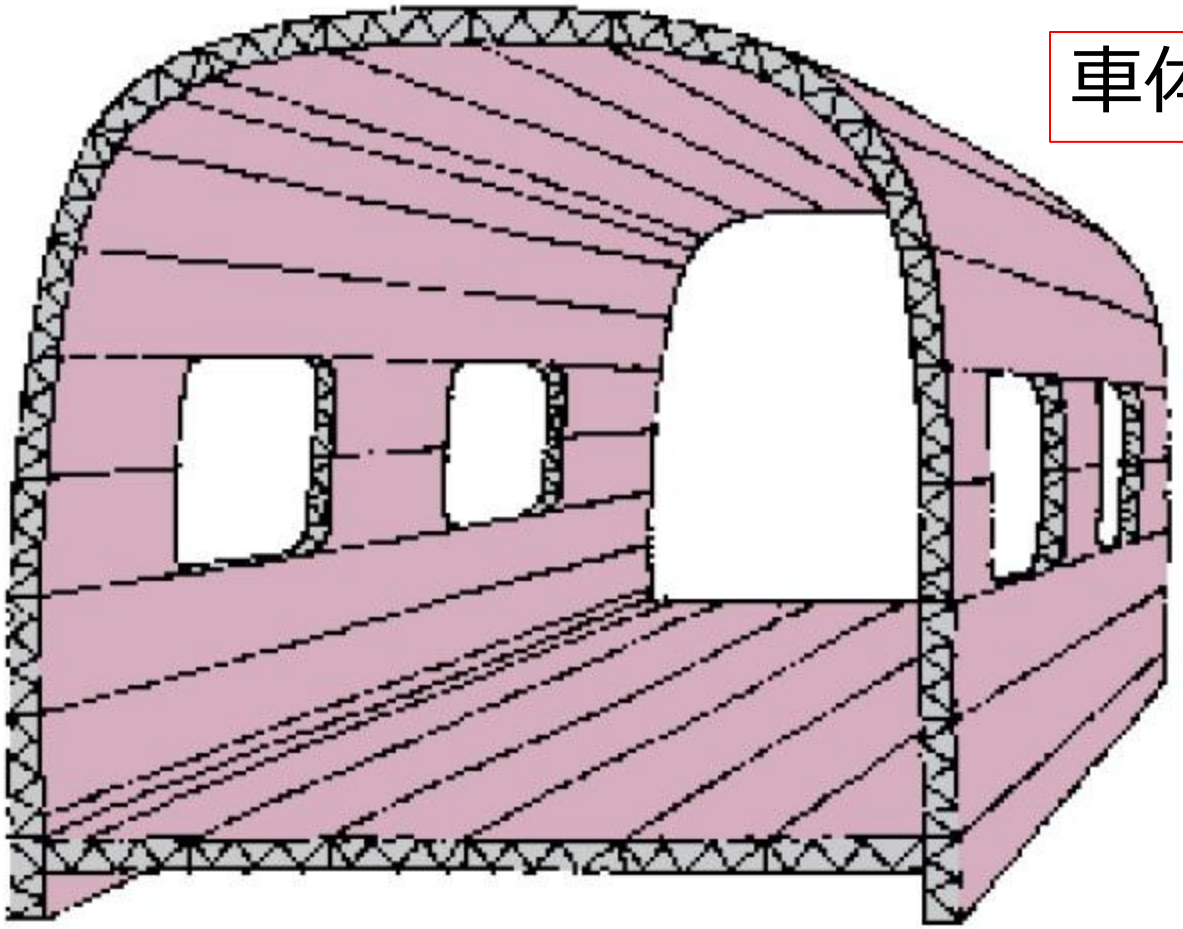
1．固定周波数の電気を、一旦直流に変換する（整流器を使う）
2．直流から任意の周波数の電気を作るのがインバーター装置。

直流電圧を、入れたり切ったりする。
その時間間隔を、長くしたり、短くしたりする。
その方法で、左の図のように周波数がk変わる。

車体設計技術：　軽量構造と空気抵抗低減

- 速度を上げるには、車体を軽くしなければならない。
  - アルミ合金や炭素繊維などを使って車体を作る。
  - 段ボールのような材料を使う。
- 速度を上げるには、風圧や騒音を低減しなければならない。
  - 空力デザイン：先頭形状を流線型にする。

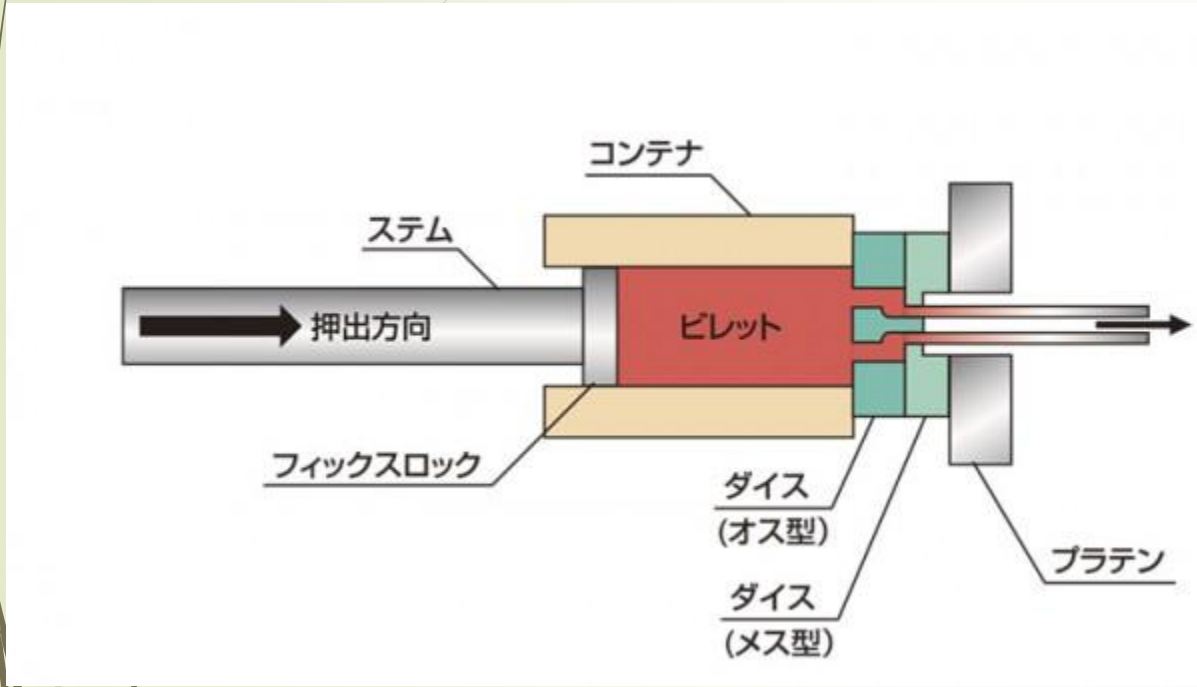
アルミ中空押出型材で構成した車体

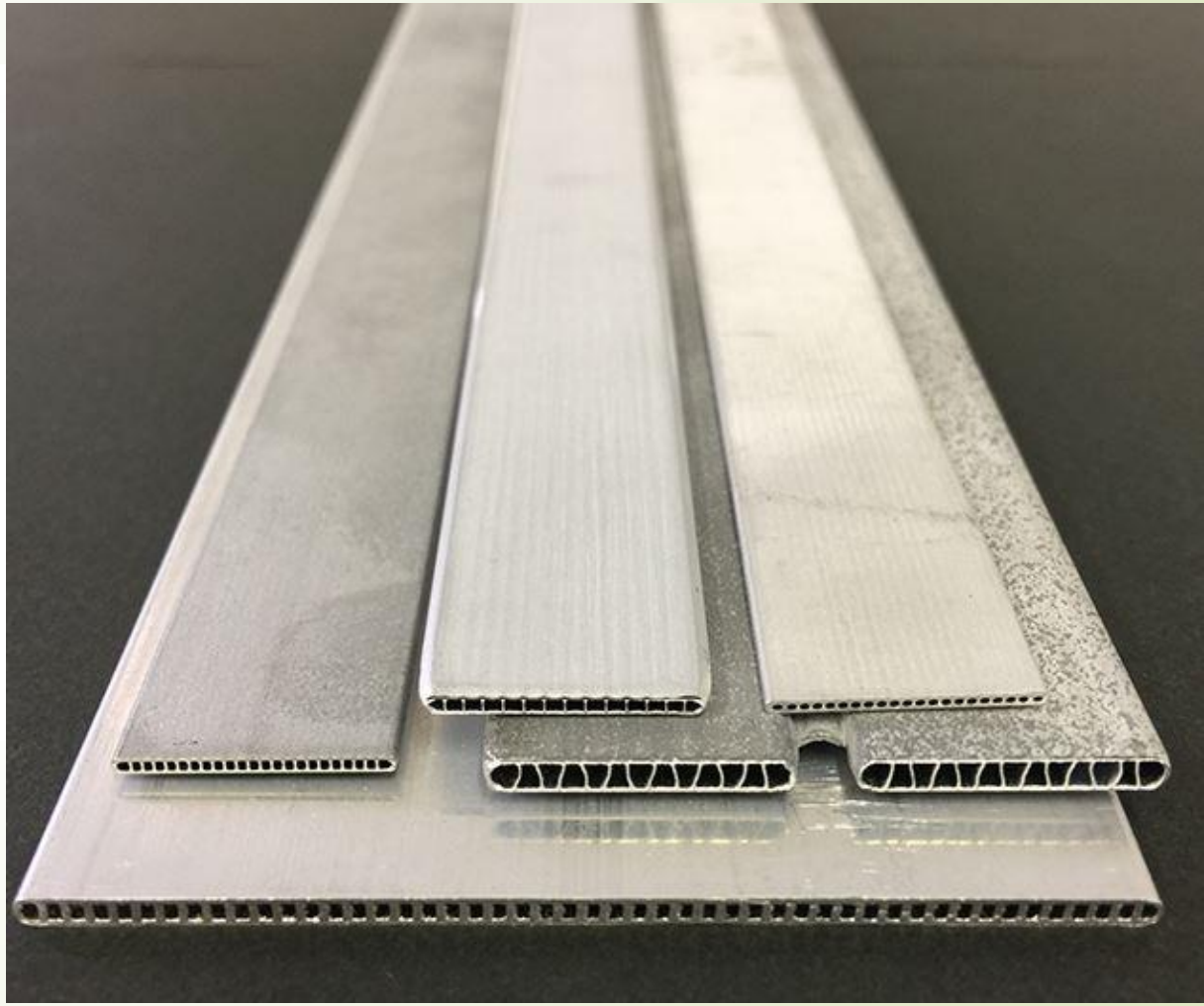


車体を軽量にする

700系より採用した
ダブルスキン構造

アルミ中空押し出し機を使って、製作する。



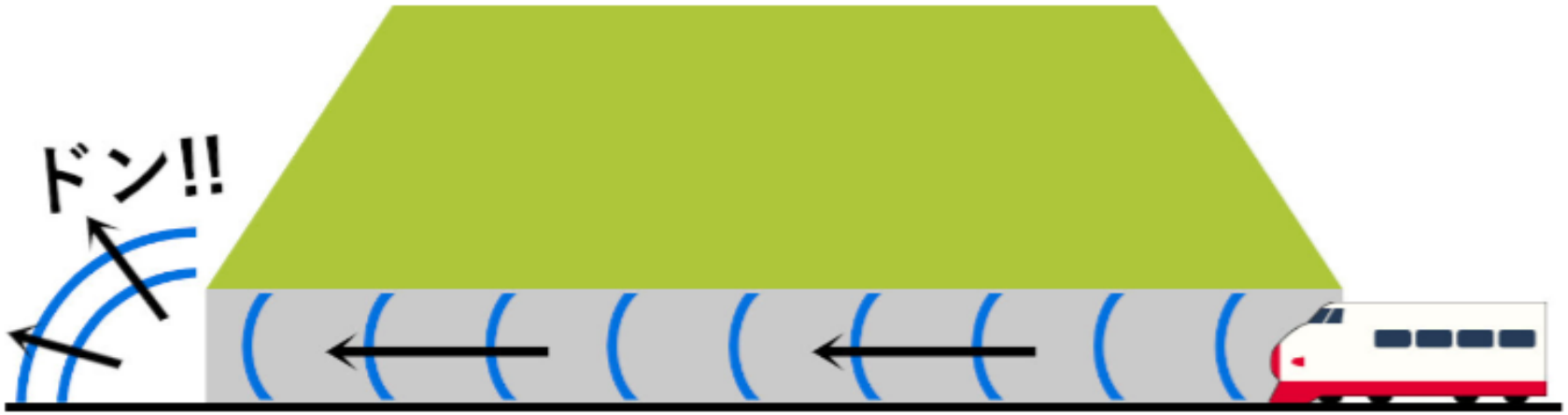


アルミを加熱して、ダイスから押し出すと、右図のような板ががができる。

先頭車の構造は、特殊な流線形。

空気抵抗を下げるとともに、トンネルに入ったとき、
出口に発生するドンという大きな音を低減する。

そしてもう一つ重要なのが、圧縮波を低減するためです。新幹線が高速でトンネルに突入すると、トンネル内部の空気が圧縮され、反対側の出口に向かって音速で伝搬する波が発生。これが出口に至ると、「ドン」という音とともに圧力波が発生します。これはトンネル微気圧波といい、「トンネルドン」という別名もつけられています。

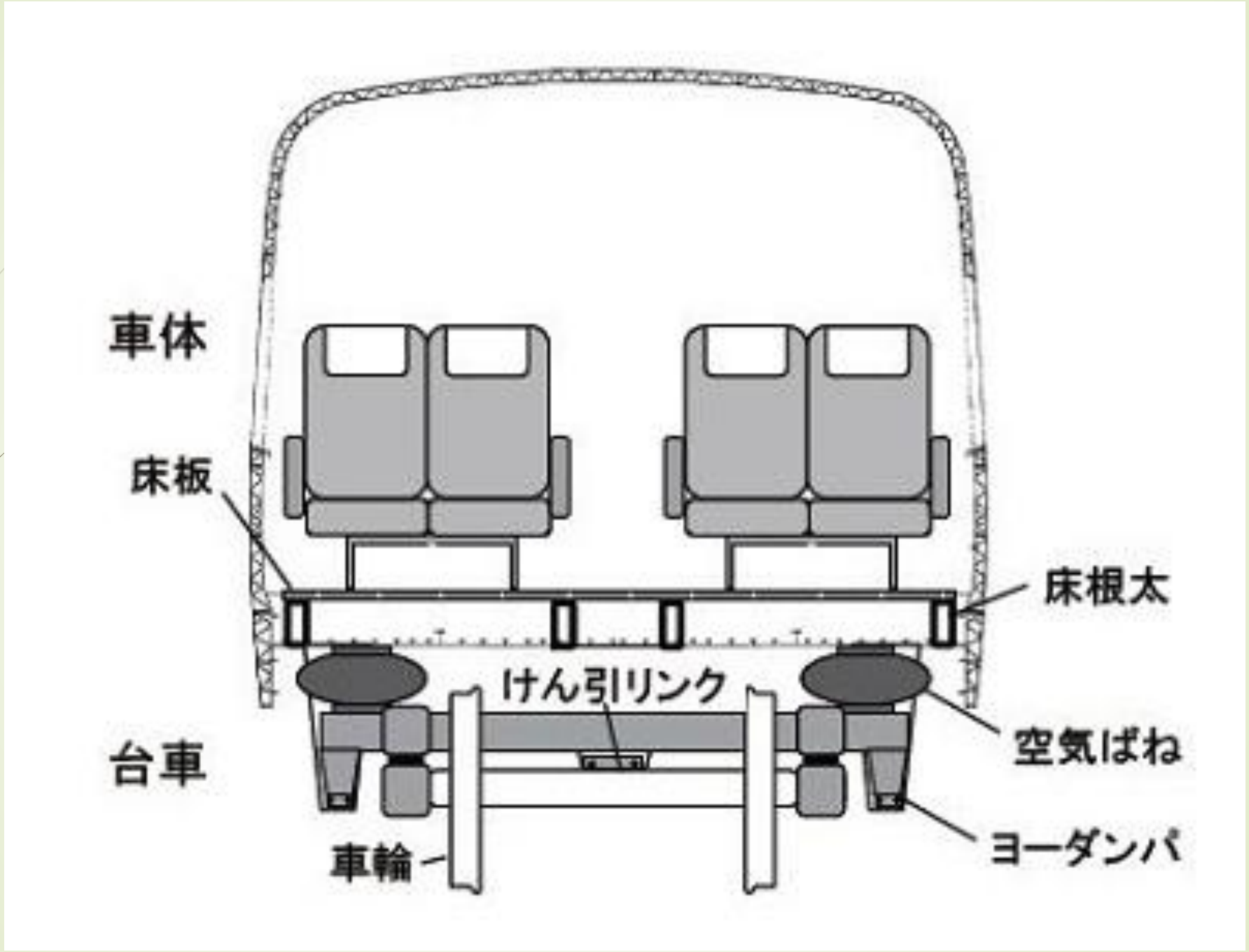


「トンネルドン」が起こる仕組み。新幹線がトンネルに高速で突入すると、トンネル内部の空気が圧縮され、反対側の出口から勢いよく飛び出します。この際に圧力波が発生することで、騒音などの悪影響が出てしまいます

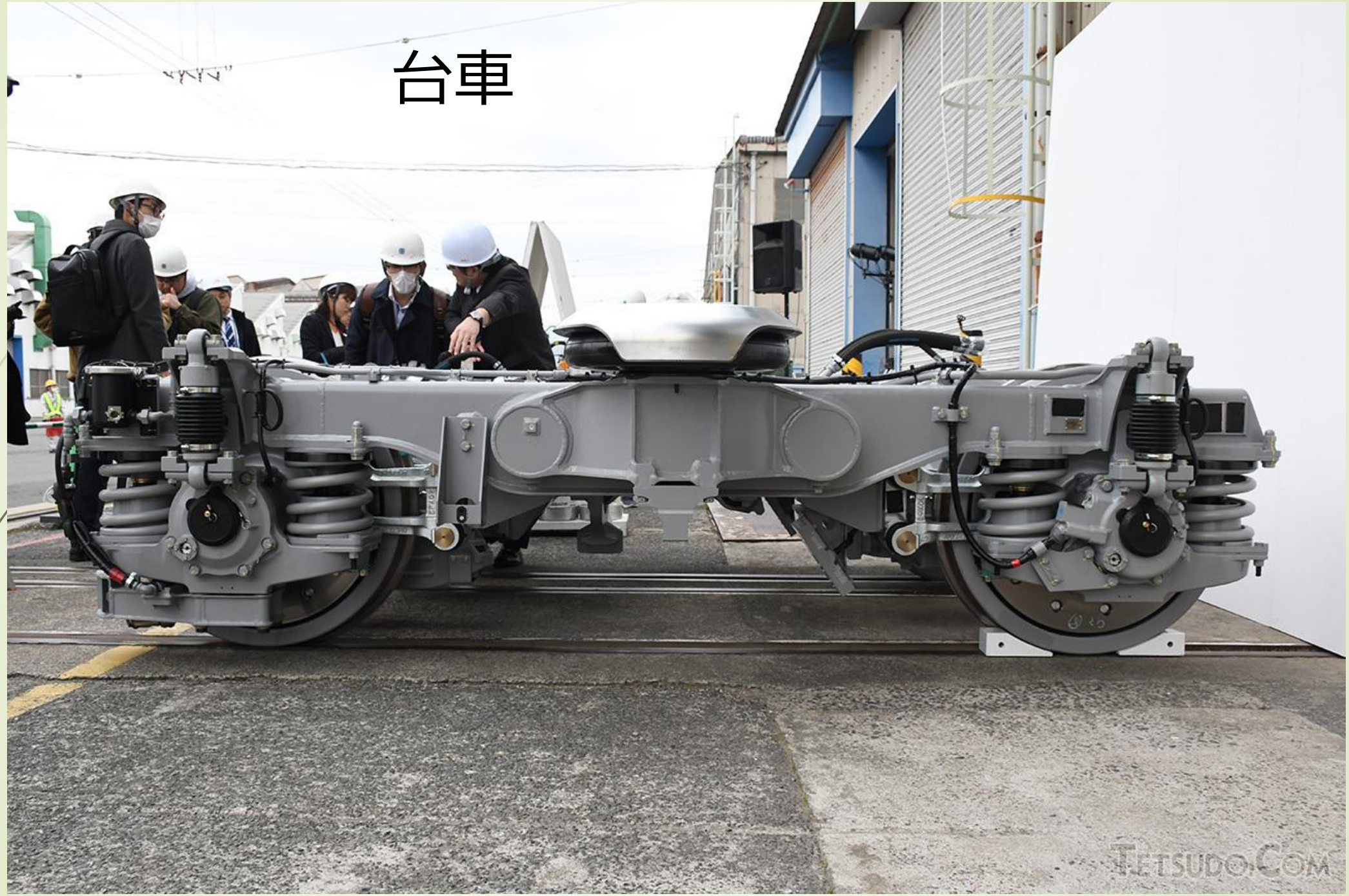
トンネル微気圧波は、ただ騒音を発生させるだけでなく、周囲の家屋に影響を与えることもあるため、さまざまな対策が試行されてきました。その対策の一つが、近年の新幹線車両でよく見られる、長く複雑な先頭形状なのです。単純な流線形ではなく、先頭形状を工夫することで、トンネル微気圧波の低減が図られています。

列車を乗せて走る台車

- 安定走行と騒音低減のために、サスペンション、ダンパー、制振設計が重要である。
- フランジとレールの接触技術：摩耗を抑えつつ、高速でも脱線しにくい構造をとる。

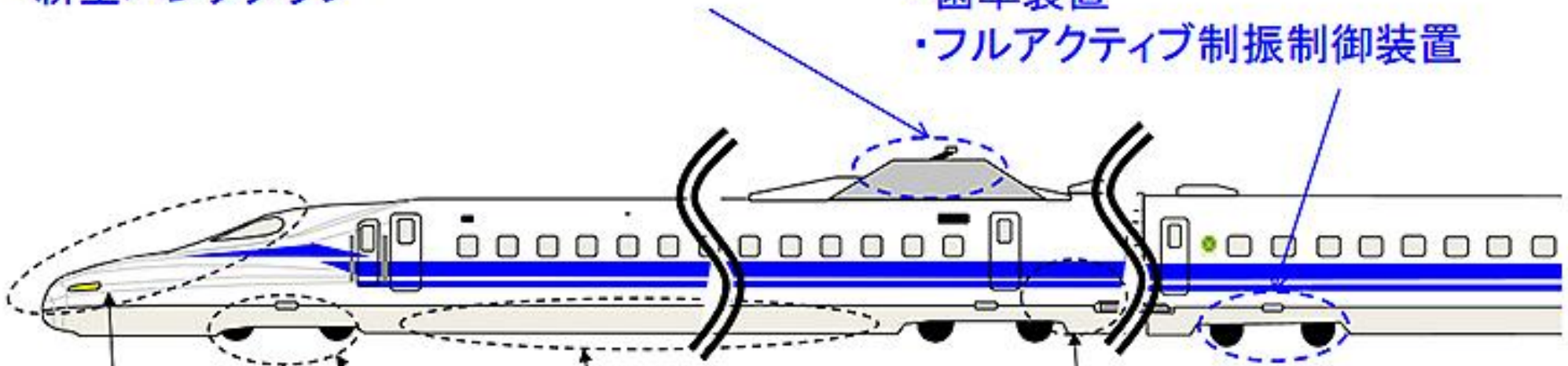

車体
床板
床根太
けん引リンク
台車
空気ばね
ヨーダンパ
車輪

台車



○高性能と軽量化を追求した新型台車
・台車フレーム
・6極駆動モータ
・歯車装置
・フルアクティブ制振制御装置

○集電性能向上と省メンテナンスを実現した新型パンタグラフ



◇SiC素子駆動システム

◇台車振動検知システムの改良

◇地震ブレーキの改良

◇小型・大容量リチウムイオンバッテリ

◇先頭形状の改良
（デュアル スプリーム ウイング形）

○：今回お知らせする内容
◇：既にお知らせした内容

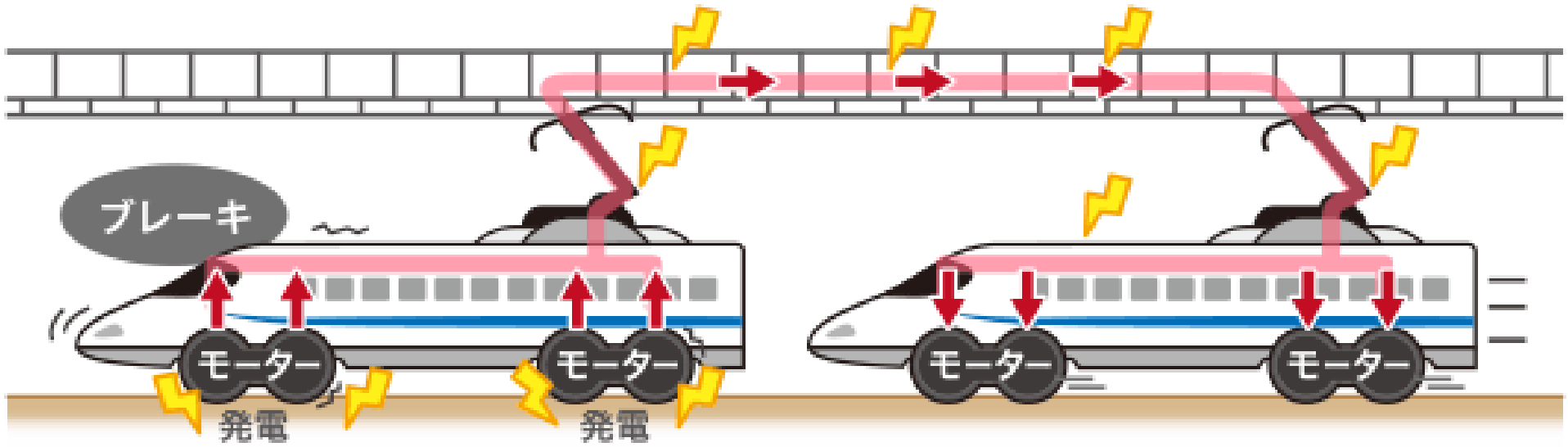
制動（ブレーキ）

- 高速車両を減速・停止方法
  - 電気ブレーキ（回生ブレーキ）を使う。駆動用モーターを発電機として使い、減速時のエネルギーを架線に戻す。
  - 原理的には、加速するときに使った電気を、減速時に元に戻すことになる。
- 緊急時など急速減速・停止方法
  - 空気ブレーキやディスクブレーキを使う。
  - 高速走行からの確実な減速が可能。

■回生ブレーキ

1 ブレーキをかける時にモーターで発電した電気を架線へ

2 架線に戻した電気を、他の電車が使用する



減速中はモーターを**発電機として使用**

加速中は**モーターとして使用**

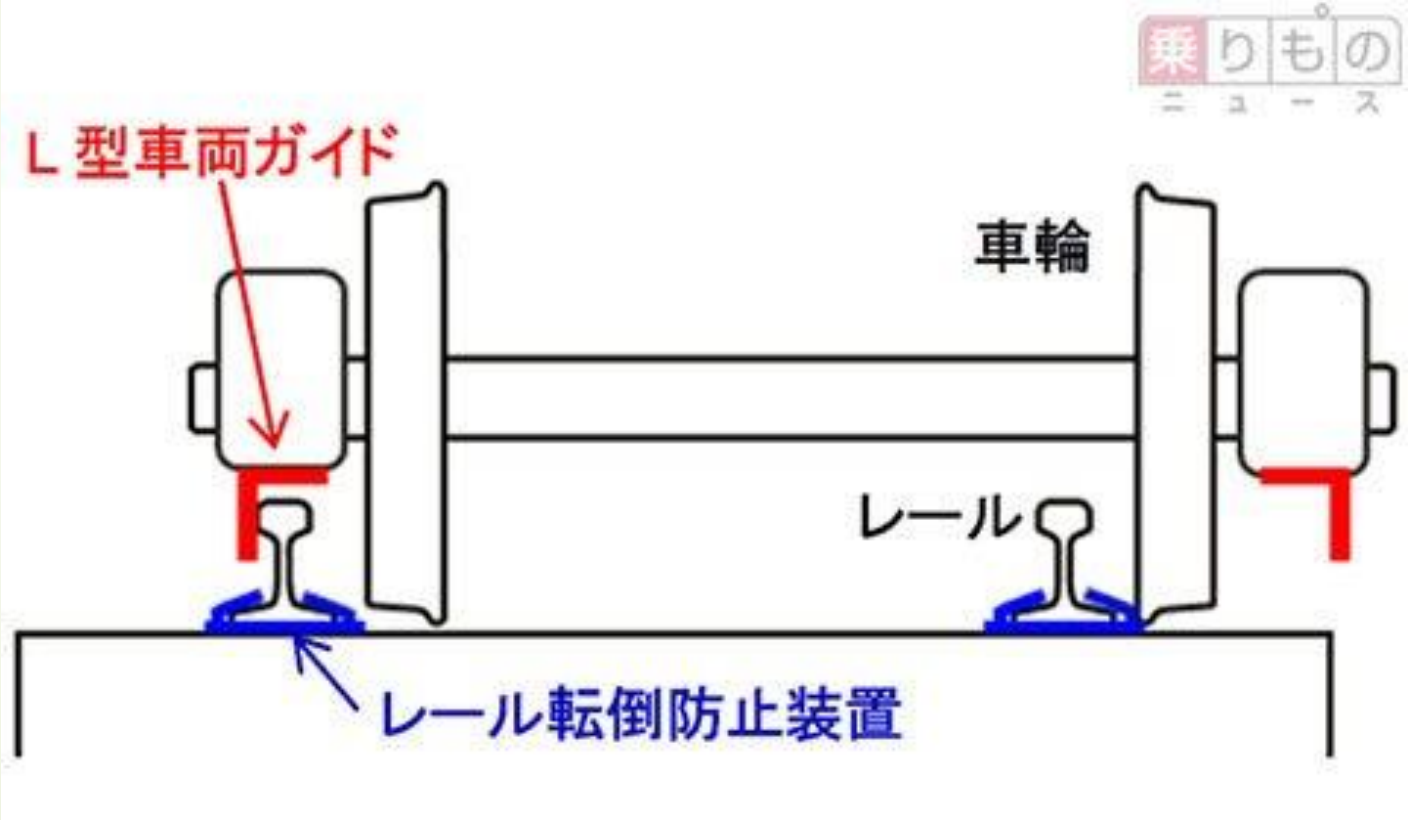
図１　開発した空圧式フローティングキャリパ

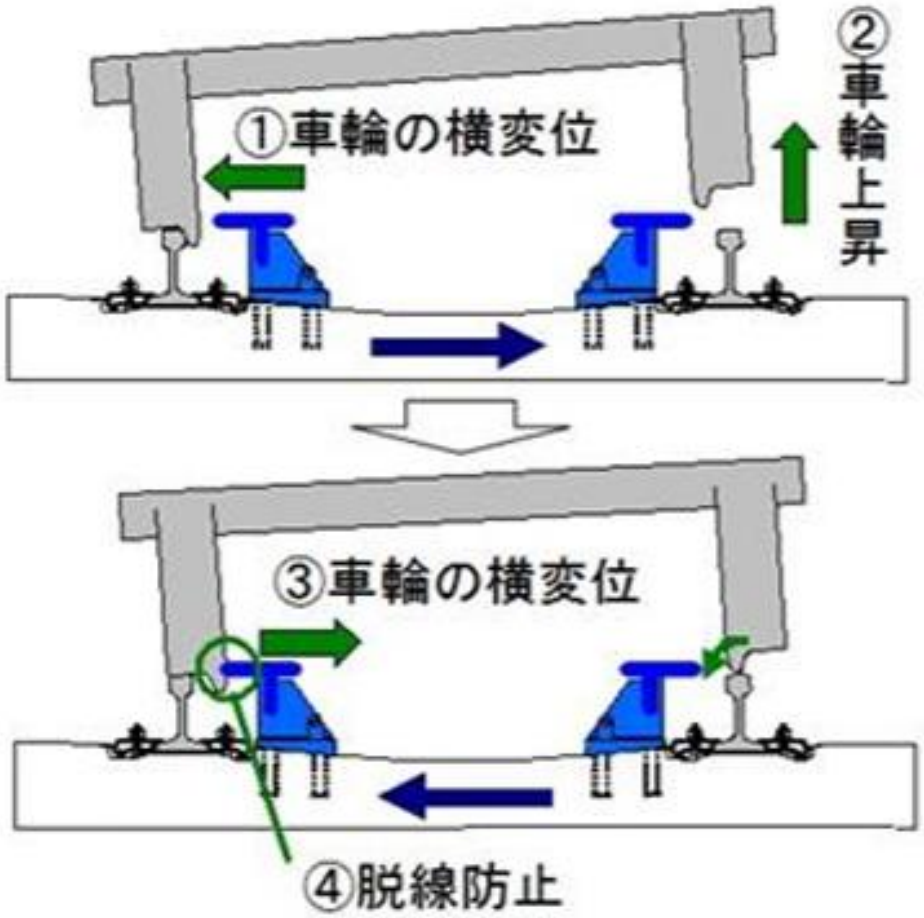
キャリパをディスクに押し付け、その摩擦力でブレーキをかける。
押し付ける強い力に空気力を使う。

騒音

- 高速では、騒音がひどくなるので、対策が必要になる。
  - 車体の床や壁に防音材や吸音構造を組み込み、騒音を低減
  - 二重窓構造で、車内外の騒音を抑制。
  - 防振構造：乗り心地の向上と部品の長寿命化も図る。

脱線による逸脱防止装置





▲脱線防止ガードの仕組

車内快適性と安全座席

- 客室内の快適設備、座席の間隔が広く、リクライニングあり。
- 空調、LED照明、静音車内放送、Wi-Fiサービスなども整備。
- 万一の衝突時に衝撃を吸収する部分を先頭車などに設置。
- 自動ドア・自動消火装置・非常用脱出装置などを完備。
- 座席や荷物棚も緊急時に飛ばないよう設計されている。
- 多目的な設備多目的室・車いすスペース・バリアフリートイレなど、高齢者や障害者にも対応。
- 静かでスムーズな連結各車両間の接続部には可動幌（ほろ）と静音構造があり、走行中でも騒音や風を感じにくい。
- ドアは気密性が高く、防音性も高い。万が一の事故にも備えるクラッシュアブゾーバー

グランクラス

個　室

高速走行のために必要な線路の条件

- 高精度なレールと敷設ロングレール（ロング溶接軌条）：
  - つなぎ目の少ない長いレールを使用して、走行時のガタンゴトン音や衝撃を減らす。
- 高精度な軌道敷設：
  - 数ミリの誤差も許されないほど、レールの水平・直線・曲線が精密に施工される。
- 専用の路線高速鉄道は在来線と分離された専用線路を使うことで、安全性と速度を確保。
  - 交差や踏切がない「立体交差方式（高架やトンネル）」で、人や車との接触事故を防ぐ。
- カント（傾き）の調整カーブでは「外側のレールを高くする（カント）」ことで、遠心力を抑えて安定走行。
  - 高速運転でも乗客が揺れを感じにくくなる。

高速走行のために必要な線路の条件（続き）

- 道床とバラストバラスト軌道：
  - 砕石の上にレールを敷く、在来線でも一般的な方式。
- スラブ軌道（コンクリート軌道）
  - 新幹線ではメンテナンスが少なく、安定性が高いため、これが主流。
- 線路の直線性と勾配制限カーブを少なく、できるだけ直線に設計する。勾配（坂道）もゆるやかにして、列車の速度維持と安全性を確保。
- 保守・点検体制高速運行に耐えるため、線路の状態を頻繁に検査（レールの摩耗・ゆがみ・温度変化など）。

広軌と狭軌

2021.pdf

021 東海道新幹線における脱線・逸脱防止対策

取組主体【掲載年】	法人番号	事業者の種類【業種】	実施地域
東海旅客鉄道株式会社（JR 東海） 【平成 27 年】	3180001031569	サプライ関連事業者 【運輸業，郵便業】	愛知県

取組の概要

脱線防止に向けた二重の取組

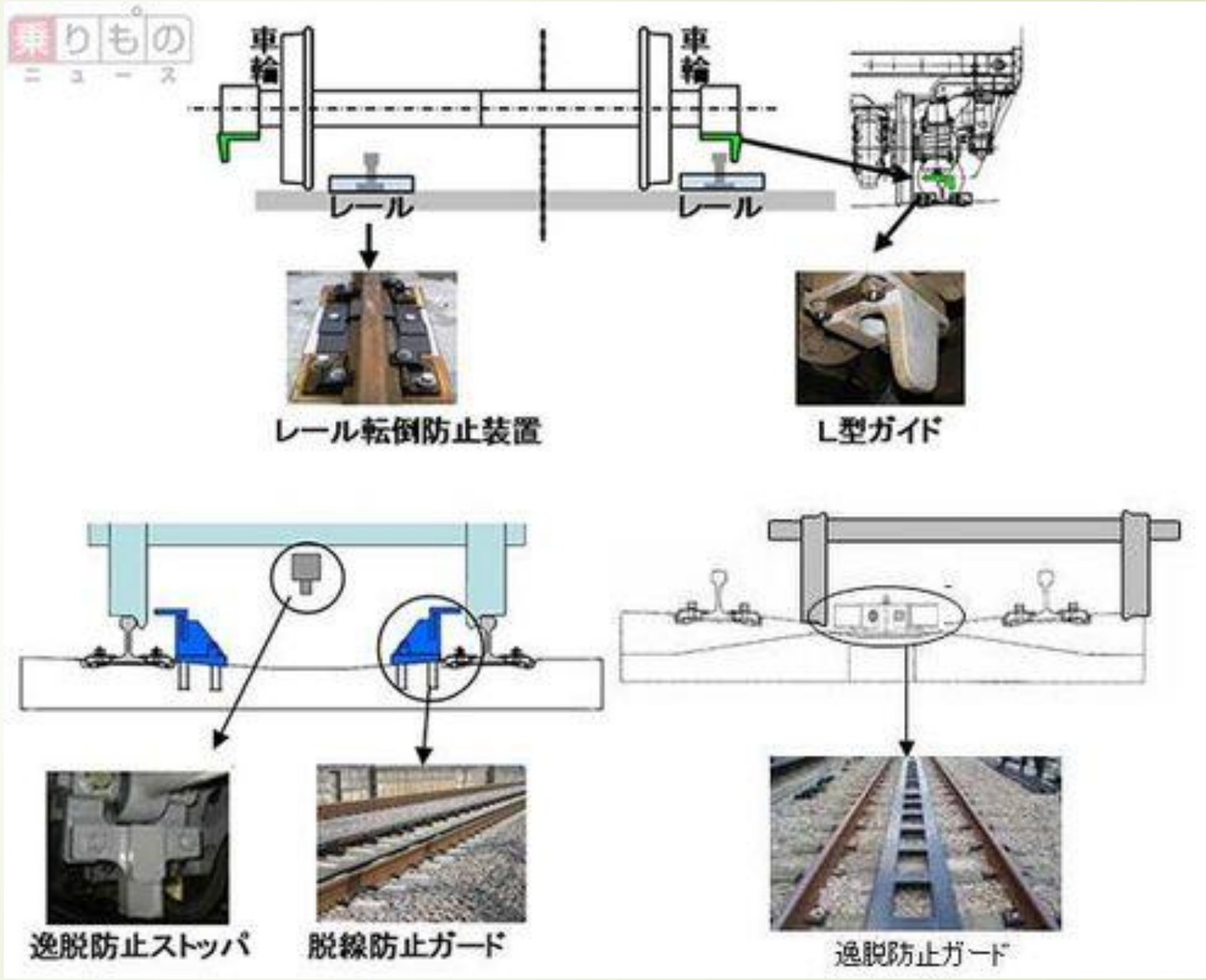
- 東海道新幹線では開業以来、最先端の耐震技術を取り入れ、地震対策を実施してきた。過去の震災時の脱線被害を受け、東海旅客鉄道株式会社（JR 東海）では、軌道に脱線防止ガードを敷設して脱線を極力防止し、想定を上回る揺れにより万一脱線した場合でも、車両に取り付けた逸脱防止ストッパで列車の逸脱を極力防止する二重系の対策を施している。

▲脱線防止ガード

- また、この脱線防止ガードを有効に機能させるため、あわせて土木構造物を補強し、地震時の構造物の大きな変位も抑制する対策も行っている。

線路では

- 広軌
- 揺れ防止
- 専用線路
- 立体交差



新幹線の運転管理法

- 【ATC自動列車制御システム】の原理
  - 信号を目で見て運転するのではなく、車両に速度指令を自動送信して走行する仕組み。
  - 地上側のセンサーや回路が、列車の位置や速度を検知。
  - 指令所（運転指令所）から、各列車に「制限速度」などのデータを無線や軌道回路で送信。
  - 車両側では受信した速度指令に基づいて、自動的にブレーキや加速を調整。
  - 運転士は基本的に「監視役」で、指令と実走行のずれがあれば対処。
- 特徴：
  - 信号機が線路にない（信号無表示）人間のミスを防ぎ、安全性が非常に高い。常に前方の列車との間隔を自動計算。

５００系の運転席

運転士席の正面には大きなディスプレイが二つ、ここに走行中のさまざまな運転情報が表示されます。

飛行機のグラスコックピットとは比較にならないほどのいさぎ良さ。
初めて見たときは拍子抜け。
戦闘機のキャノピーを思わせる天井は、特殊強化ガラスで覆われ、遮光バイザーはマジックテープで止める方式。

時速３００キロですっ飛ばす運転台からの眺めはさぞかし迫力満点だろう

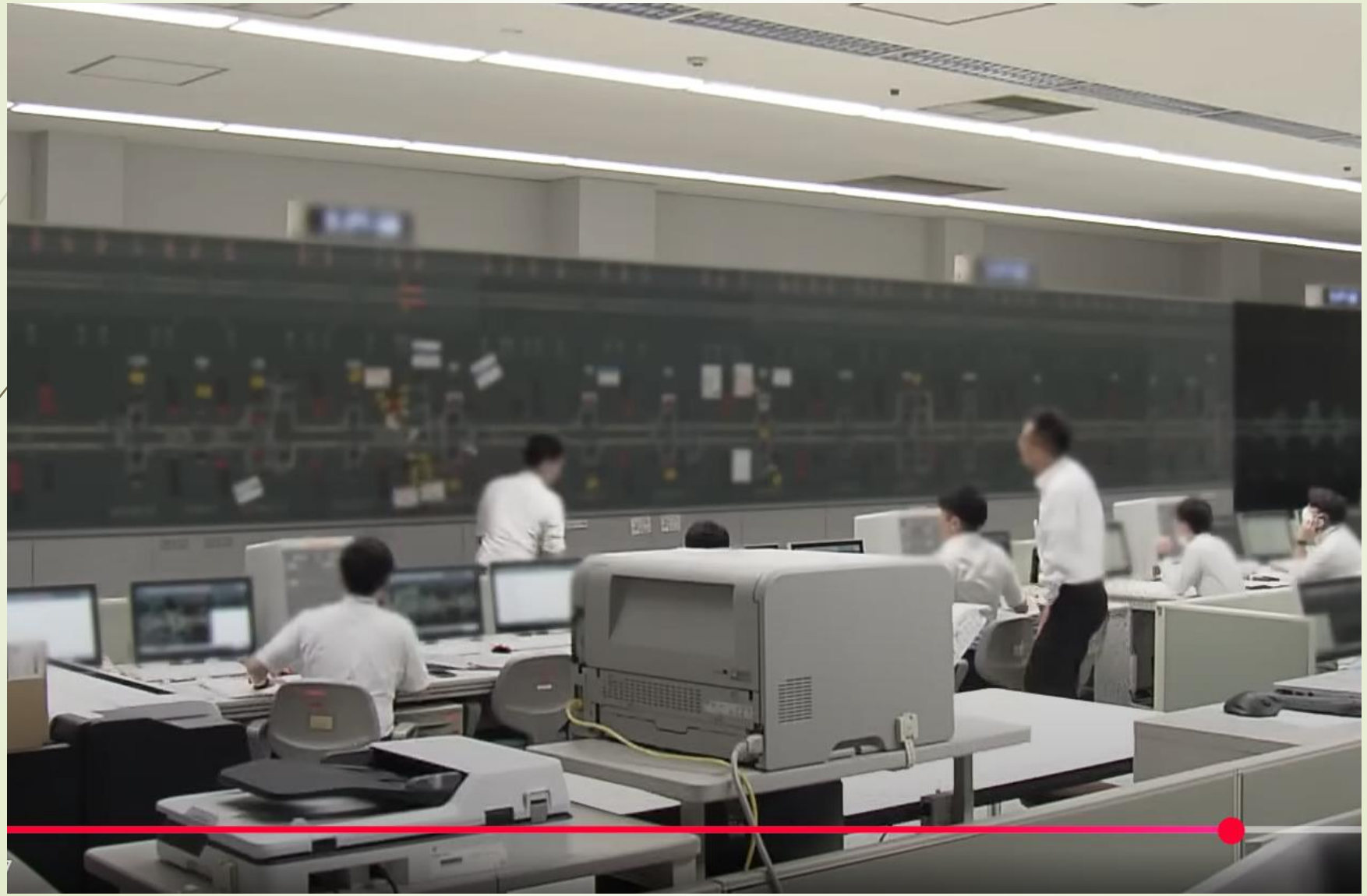
情報通信技術

- 新幹線車両の運転制御は、（ICT）列車制御・運行管理システム（ATC, ATS）によって行われている。
- モニタリングと自己診断システム

COMTRAC：列車運行管理システムの原理

- 新幹線全体をリアルタイムで監視し、列車の位置・速度・ダイヤの進行状況を自動管理するシステム。
- 具体機能：各駅・列車の位置と予定時刻を常に監視遅れやトラブルが発生した際、自動で運行計画を再編成（リスケジュール）車両基地や点検システムと連携して、保守・検査も最適化
- 特徴：中央の指令所（東京・大阪など）で一括管理。災害時なども迅速に運転再開判断が可能。AIも導入されつつあり、予測型の運用管理が可能

Bing 動画



高度な運行管理システム

- 自動列車制御（ATC）システム
  - 運転士はアクセル・ブレーキ操作をするが、速度超過を防ぐため、自動で速度制御を行うシステム。
  - 信号ではなく、線路上の情報伝送で制御。信号機がないのが新幹線の特徴です。

ダイヤの正確さ（定時運行）

- 年間の平均遅延はわずか数十秒という正確さ。1分単位で細かく組まれた分刻みのダイヤを、秒単位で管理している。
- 遅れが出た場合は、すぐに指令室が別ルートや他列車との調整を行う。
- 高速で走行していても、常に安全な間隔を自動で保つ。前の列車に近づきすぎたら、自動的に減速命令が出る。
- 自然災害が発生した場合、地震計やセンサーから自動停止信号を送る。地震発生後2～3秒で緊急停止指令（地震警報システム）が作動。
- 日々の運行データを蓄積：車両の微妙な振動や温度変化などをモニタリングして、故障を未然に防止。
- 運転士、車掌、保守員、指令員など、人と機械の役割分担が明確。異常時は人の判断が加わり、状況に応じた柔軟な対応が可能。

通信・検知の技術要素技術内容

- 軌道回路 レールを通じて列車の位置を検出。
- 信号伝送にも利用無線LAN・LTE通信　ATCデータや車両モニタリング情報を送受信
- GPS＋加速度センサー　位置・速度の高精度把握（新型車両で導入）
- 地震計システム（URD）　地震発生時に自動で列車を停止させる緊急制動

日本の新幹線とフランスのTGV との比較

比較項目	フランスのTGV	日本の新幹線
運行開始年	1981年（パリ～リヨン）	1964年（東京～新大阪）
最高営業速度	約320km/h（路線による）	約300～320km/h（路線による）
車両構成	動力集中方式 （先頭と最後尾に動力車）	動力分散方式 （ほとんどの車両がモーター付き）
線路構造	一部在来線と共用（混在）	新幹線専用線（分離）
ダイヤの正確性	数分の遅れは許容範囲	年間平均遅延数十秒（極めて正確）
運行本数	比較的少なめ（1時間に数本）	非常に多い（東京～新大阪間では 1時間 に10本以上）

フランスのTGV

補足説明

- 駆動方式の違いTGV（動力集中方式）　先頭と最後尾にだけモーターがあり、間の車両は基本的に客車。走行安定性に優れる。新幹線（動力分散方式）　全車両にモーターがあるため、加速性能が良く、トンネルや坂が多い日本に適応。
- 線路と安全対策TGVは在来線にも乗り入れることができるが、在来線は踏切があり、混雑も発生する。新幹線は完全に専用の高架軌道で、踏切は一切なし。事故の可能性が極めて低い。
- ダイヤと本数日本の新幹線は都市間が近く、利用者数が多いため本数も非常に多い。フランスでは都市が遠く離れているため、TGVは速くても本数は少なめ
- 地震への対応日本では頻繁な地震があるため、地震計・緊急停止装置・揺れ感知センサーなどが整備されている。フランスではそのような対策はあまり必要とされない。

中国の新幹線との比較

	日本	中国
運行開始年	1964年（東京～新大阪）	2008年（北京～天津）
路線総延長	約3,000km	約45,000km（世界最長）
最高営業速度	約300～320km/h	一部で350km/h（最高営業速度世界一）
運行本数	非常に多い（東京～新大阪間で1時間に10～13本）	
車両方式	動力分散方式 （全車にモーター）	動力分散方式＋集中方式の併用
ダイヤの正確性	ダイヤの正確性　年間平均遅延30秒以下	天候・混雑で遅延もあり（数分～十数分）
安全性	世界最高水準。死亡事故ゼロ	2011年に重大事故（温州事故）あり、その後安全強化

中国の新幹線

新幹線はなぜ速く走れる？

おわり

吉岡　芳夫