

城南総合研究所 調査報告書 No.33

第3世代の鉄道（3GR）の原理と特長 — リニアを超える夢の鉄道 —

2020年9月

CHO 技術研究所 長島 彬

はじめに

レールを用いて人や物資を運ぶのが鉄道とするならば、その第1世代は上限速度時速 160km の在来線で、第2世代は新幹線になるでしょう。最高速度を約2倍に出来た要因は単に標準軌 1435mm にしただけでなく、横揺れと集電の実用的な対策に成功したことによります。

この第2世代の最高速の限界を超える JR 東海の家がいわゆる磁気浮上のリニアになりますが、もはやレールは使用していないので、鉄道の概念を逸脱することになりました。

リニアは品川駅や名古屋の地下深いホームへのアクセス時間が多くかかり、ずいぶん時速 500km 走行のメリットは薄れ、またより遠方の品川ー博多間（1168.1km 4 時間 46 分）の利用では、乗り換えが必要になり、これも実用的ではありません。博多まで今のレール上を平均時速 370km で走れば、約 3 時間の所要時間故に、レール方式に固執したほうが合理的になります。

2本のレール上を鋼製車輪で走行する方式での超高速化は、駆動力の伝達がレールと車輪の摩擦係数（粘着係数）によって制限されますが、2007年4月3日に最高速度を記録したフランス TGV の時速 574.8km がありますから、鋼製車輪を使用する方式の超高速化の大きな障害と考える必要性はありません。

1、リニア方式で新たに生じた解決困難な問題点

リニア方式を採用したことによって、次のような新たな解決困難な問題点が多く識者によって指摘されています。

- ① 時速 400km を超えたあたりから、「ゴーツ」と低い音が車内に響いてくること。普通に会話はできるが、新幹線と比較し明らかに大きく、「耳ツン現象」も現れ、縦方向と横方向の小刻みな揺れも続くとの指摘があります。



図1 出典
山梨県立リニア見学センター案内

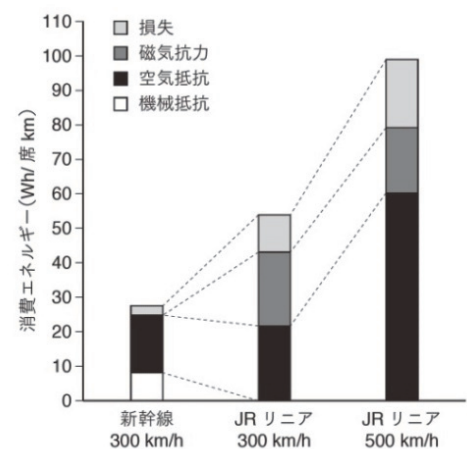


図2—新幹線とJRリニアの走行距離・座席あたりの消費エネルギー比較

図2 出典「科学」Vol.83No.11
阿部修治

「エネルギー問題としてのリニア新幹線」

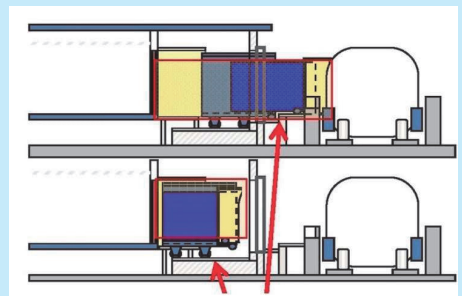
これは図1のように車体の超伝導磁石設置部分が車体より約15cm飛び出ているため、側壁と車体の間に空気の激しい乱流が生じることによると考えられる現象で、乗車部の今以上の遮音性の向上以外の良い解決案が見当たりません。

- ② 2013年に産業技術総合研究所(旧工業技術院)の首席評価役、阿部修治さんは「エネルギー問題としてのリニア新幹線」という論文のなかで、「磁気で浮上させたことで車輪とレールの間の摩擦などの機械的な抵抗はゼロになったけれど、従来の鉄道ではなかった「磁気抗力」というものが新たに生じ消費エネルギーを増大しているといっています。この「磁気抗力」は、摩擦=機械的な抵抗より大きく図2のように消費電力としてみると、時速300kmでは、新幹線の機械的な抵抗に対してリニアの「磁気抗力」は約2倍になると指摘されています。「車輪という発明」の素晴らしさを改めて認識しなければなりません。

- ③ 車体に取り付けた前記超強力磁石は人体への悪影響が懸念されますから、リニアの乗降には図3の飛行機の搭乗時のような伸縮する磁気遮蔽装置が必要になります。

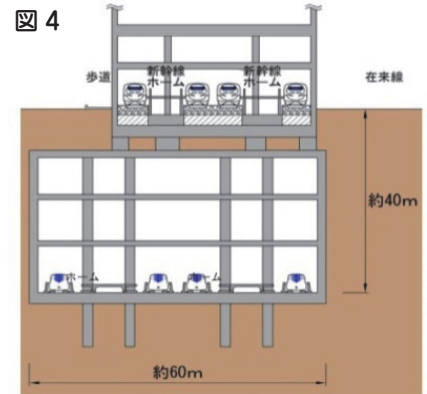
この装置の着脱と乗客の通過には時間のロスが伴いますから、出発駅の改札から到着駅の改札までの実際の所要時間は地下深いホームも考慮すれば、東京-名古屋所要時間40分という数字は実質50分とみるべきことになるでしょう。図4の品川駅計画断面図に示されるように、全体の磁気遮蔽が加わって巨大な地下空間が必要となり、経済的な問題がさらに深刻になることが懸念されます。また走行中ではトタンのような鉄材が磁石に吸い寄せられるので常に監視して、危険物を除去する体制が必要になります。

- ④ リニアモーターは、駆動する電源(一つの変電所)に対して原理的に1編成の列車しか運行できません。また車両を駆動するための電線の本数は、リニアでは推進コイルの磁極を適切に変えて推進力を維持するために、図5のように今までの鉄道方式に比べ多くの配線が必要になり、これら多くのケーブルやスイッチの設置や維持が大きな経済的な負担となります。従来の鉄道設備と比べリニア方式はガイドウェイや駅の設備などの「固定設備の費用」が極端に高くなる弱点があることを見逃してはなりません。



出典 国交省

図3



品川駅断面図

出典 JR東海事業説明資料 p.18

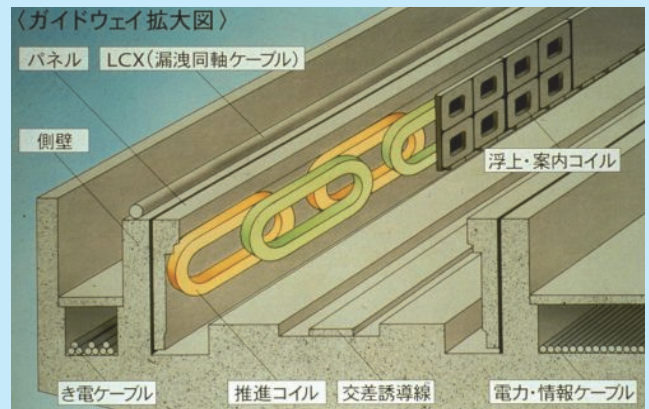
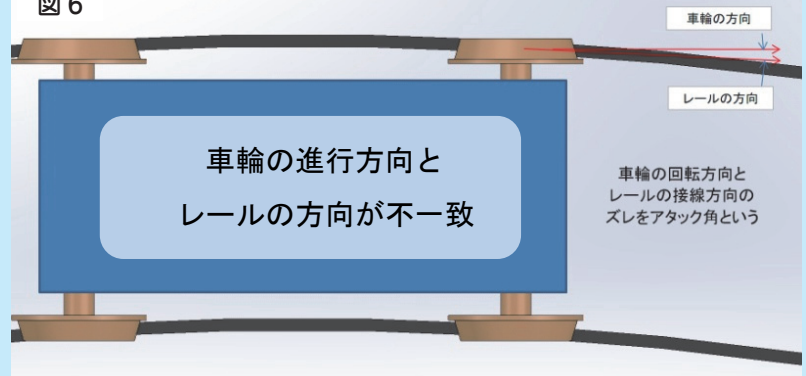


図5 出典 岐阜県公式ホームページ

2、今までの新幹線方式の限界

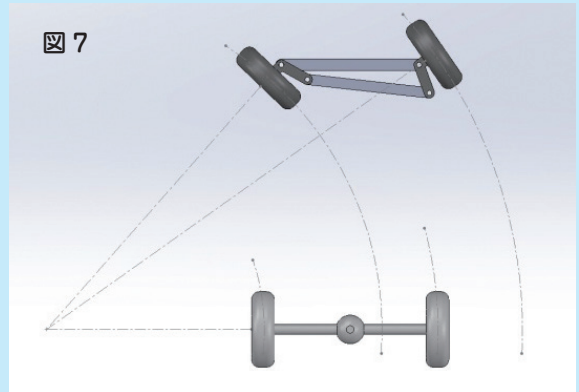
一方、今までの鉄道はフランジ付のテーパ車輪を使用してレールに無理矢理沿わせて脱線を防ぐ方式で、左右の車輪は軸で固定連結されて、同じ回転数で回ることを基本としています。シンプルで実用的な走行原理ですが、直線部の走行でさえ、左右の車輪のレールとの接触外径のわずかな差などによって原理的に

図6



横方向の振動が発生して、台車が「蛇行」します。この台車の蛇行によって車両に横揺れが伝わり、高速になるほど大きくなって乗り心地を悪くすることは通勤電車で誰もが実感するところです。また図6は台車を上から見た曲線通過時の図で、車輪の進行方向とレールの方向が一致しません。このズレはアタック角と言われていて、脱線の危険や曲線部通過時のきしみ音の発生、レールの摩耗の原因になります。(大江戸線の騒音が大きな理由)

一方、自動車の舵取り原理は図7に示す様に4輪全てが、各々回動軌跡の曲率中心に車軸が向くようになっていて、物理的なストレスが加わらない構造になっています。また内側と外側の車輪の回転数は差動装置によって適切に増減され、車輪の回転数に矛盾が生じない構造になっています。この自動車の舵取りを行う方法には「不快な横揺れ」が生じない大きな特長があります。

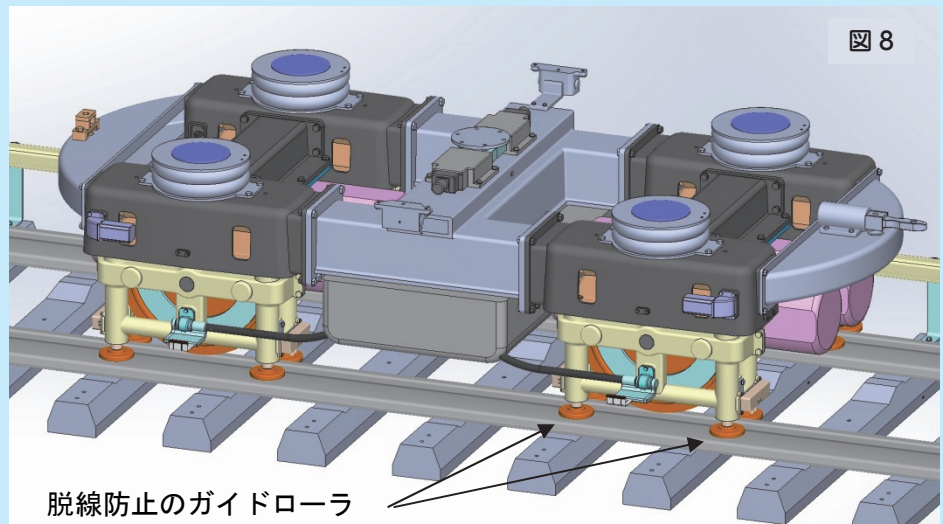


第2の問題は大電力を供給しなければならないパンタグラフに問題があります。騒音に加えて深刻なのは、電車の速度が増加するにともない、わずかなトロリ線の凹凸にパンタグラフが追従できなくなり、トロリ線とパンタグラフのすり板間でアーク放電が発生することです。アーク放電が発生しても電車への電力供給は継続されますが、その発生量の増加とともに騒音の増加とトロリ線の耐久性を損ねることになります。

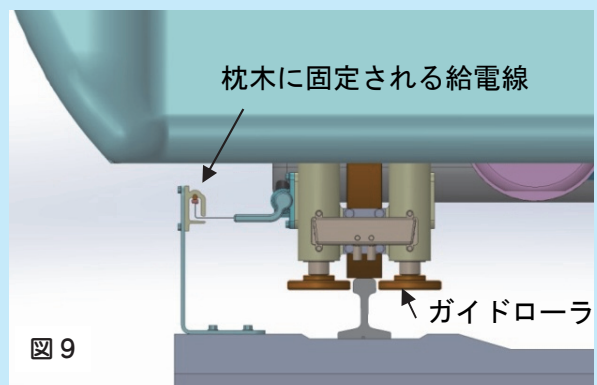
以上のような蛇行とアーク問題の抜本的な解決策として「磁気浮上式のリニア」が選ばれましたが、リニア方式のエネルギーや高額な建設費の問題によって未来の鉄道としての資質が多くの識者によって問われています。従来のレールを用いる条件で高速の安定走行を可能にする新システムの提案を次項に示します。

3、3GRの具体的な形

① 台車は図8、9に示すように全輪に操蛇可能な円筒車輪を用いレールの中央を自動走行できる機能を持たせるとともに、上方向に退避自在のガイドローラー（茶色）を各車輪に4個用いて、地震等の大きな外乱による「脱線」を完全に防止出来る構造を採用します。この自己操蛇できる台車案は分岐部の可動装置を不要にするとともに不快な台車の蛇行を防止して時速400km以上の高速走行の安定化に貢献するための新しい提案になります。



② アーク問題を抜本的に解決するため、図9のように台車に「枕木に固定される電力線」から直接給電する方式が推奨されます。台車に直接給電すれば最新自動車と同等の自動走行機能が具備できて、従来の故障しがちで複雑な信号設備を用いずに、あらゆる事故を



ローカルの制御で防止可能になります。また、この給電方法の採用は給電装置からの騒音やアークの発生が抑えられるとともに、架空電線が無くなることは、保守管理作業が地上になる事と共に、昔の電化前の美しい車窓景観が再現され、ヘリコプターを多くの作業に活用することが可能になる利点があります。

- ③ 台車車輪 1 個の操蛇機能は図 10 のように各車輪の真上に回転中心 A と赤い 10 個のローラーによって紫と黄色の車輪ユニットの倒れを規制します。このときの実際の操蛇角は、半径 200 m の急カーブでも 0.4 度程度と小さく、この角度を得るためのアクチュエータの作動長さは 3mm 程度にすぎないことから、図 10 の黒色で示す 4 角形の固定フレーム内に、全てのステアリング機能を内蔵したユニットとして構成できます。
- ④ この操蛇できる車輪のそれぞれには 2 個の駆動用のモータが設置出来、既存のハイブリッドカー用の量産モータが活用可能になります。1 モータの出力が 50kW とすれば 1 車輪で 100kW、1 台車 4 車輪で 400kW となり、1 車両は 2 つの台車で構成されますから、800kW (約 1000 馬力) となり、動力を分散した大馬力の高速走行車両が安価に得られることとなります。
- ⑤ 列車の空気抵抗を減らすことと、すれ違い時のショックを低減するために、図 11 に示す様に空気を上に逃がす先頭車両形状とともに、前記給電システムでパンタグラフを無くし、車体長さを 12.5m と現状の半分にして、車体間隙を小さくする構造を採用しています。

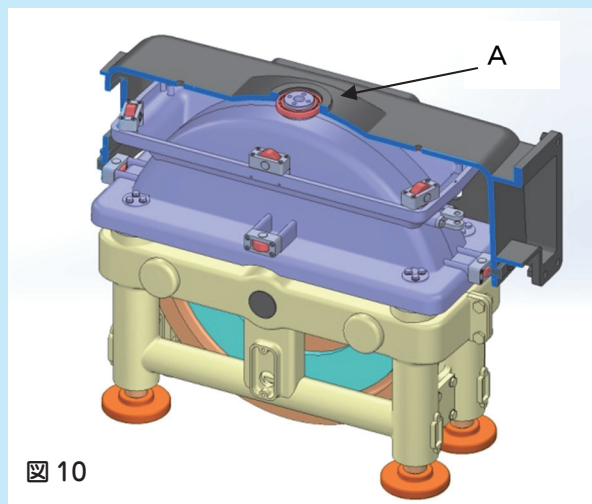


図 10

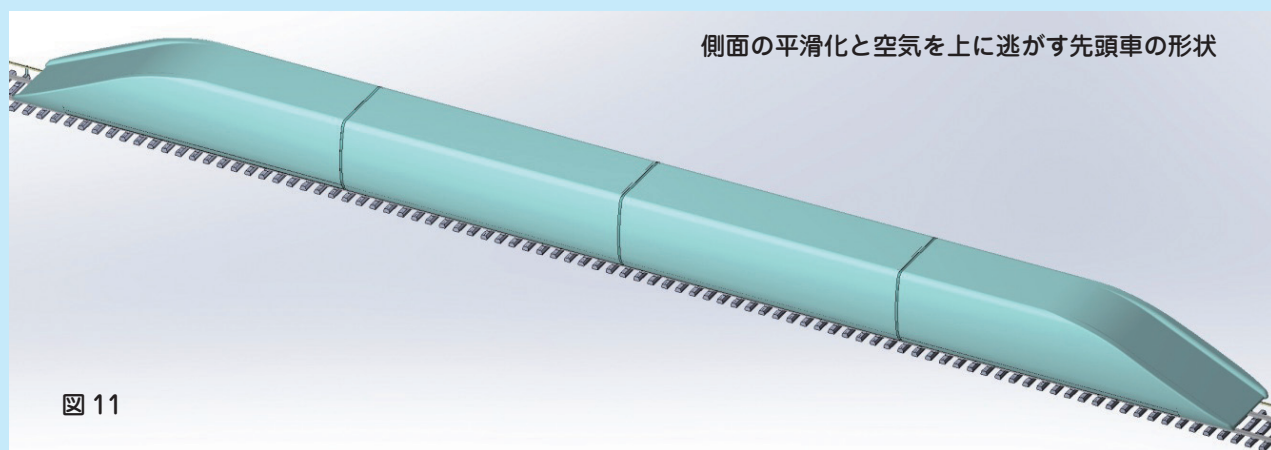


図 11

おわりに

本稿提案の 3GR (第 3 世代の鉄道) を実用化するための試験は、リニア開発時のような専用線からの膨大な開発費用を要するものと違い、既存のレールを用いて、台車の試作試験を先行して台車が具備すべき「全自動の精密な舵取り機能」で「レールの真上」を走るといふ、基本の性能を確かめれば足ります。

また、この自動走行する台車主体のシステムの構築によって、列車編成の概念が変わり、目的地が異なる車両を混成して 1 列車として発車しながら、連結車両が個別に目的駅に直行しやすくなるので、実質の所要時間短縮に貢献することや、台車単体をパイロットとして列車の数キロ先を走らせて安全確認を強化すること、鉄道設備を簡素化し管理費を低減し、電柱を無くして車窓風景を向上し、超高速走行の騒音や省エネ、振動低減、等を実現して、日本発の「新たな鉄道技術」として世界へ発信できることを期待します。

(特開 2020-104850 参照)