

- 鉄道一般
- 車 両
- 施 設
- 電 気
- 運 転・輸 送
- 防 災
- 環 境
- 人 間 学 科
- 浮 上 式 鉄 道

鉄道車両走行時の安全性向上への取り組み



長谷川 均
Hitoshi Hasegawa
車両制御技術研究部長

鉄道の研究開発においては、「安全」が究極の目標といっても過言ではありません。また、安全の追求は手を緩めてはいけないテーマです。一方で、安全を脅かす、自然災害、火災、脱線などの極限状態を事前にかつ完全に再現し把握することは容易ではありません。そこで計算機シミュレーションや実験装置を駆使し、安全を評価・確認しています。本号では、車両に関する最近の話題として、走行時の安全性向上の取り組みを紹介し、ここでは、具体的例として、新しいシステムである燃料電池を導入するにあたって安全を評価した事例を紹介し、

はじめに

まず、鉄道の安全を評価するにあたって、車両の走行安全を脅かすものを整理してみましょう。もちろん車両が停車していても何らかのリスクがありますが、人や物を運ぶものの固有のリスクとしては、走行中に発生する事象があげられます。とくに高速鉄道においては、走行中に車両が脱線や転覆するなどの異常をきたすと人的、物的に重大な被害が起きます。そこで、鉄道では、軌道から逸脱させない(脱線させない)、決められた位置の手前で確実に停車する(確実にブレーキが働く)ようにシステムを構築しています。

図1に鉄道の安全を脅かす要因を列挙してみました。外的要因としては、地震や異常気象など人間にはコントロールできないものや、踏切での自動

車の衝突や軌道への落下物など、いわゆるもらい事故などです。内的要因としては、軌道や橋りょうが破損したり、台車などの重要な部品に不具合が生じたりすることで、とくに台車や軌道の破損は、重大な事故に発展します。また、火災のように車両から発生する場合と、鉄道以外の施設で火災が発生して線路に延焼するなど、外的、内的どちらからもありうる要因もあります。

内的要因に関しては、走る前に検討し、対策を講じ、要因の発生を未然に防ぐことが安全確保のうえで非常に重要です。また、発生してしまった要因

について、被害が最小限に抑えられるような対策を打つ必要があります。

外的要因についても、地震などの自然災害などは現在の科学では予知することは非常に困難ですが、鉄道システムに大きな影響が出る前に車両を安全に停車させるような対策を行う努力を行っています。例えば、早期地震警報システムなどがこれにあたり、地震発生をいち早く検知し列車を停止させる装置が実用化され配置されています。

また、最近はテロや感染症対策など、これまで考えていなかった事象についても、重大なリスクと考えられていま

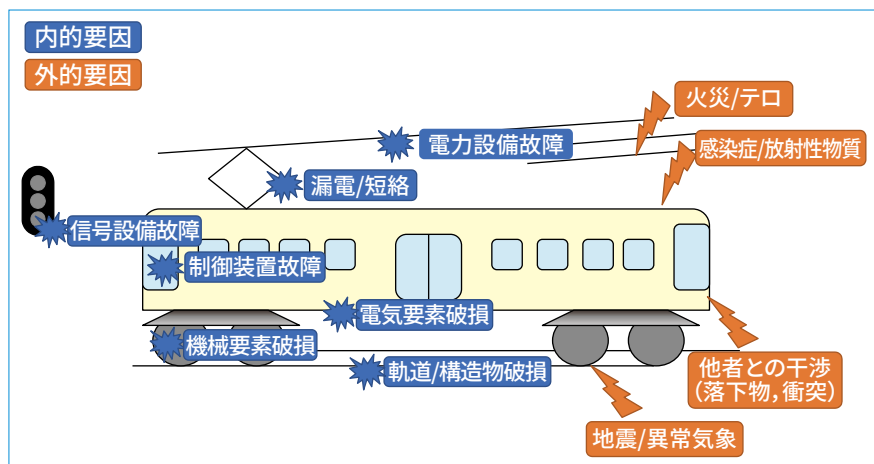


図1 鉄道の安全を脅かす要因

参考:「航空機」の安全

航空機においては、機体などに金属と樹脂のいわゆる複合材料が多用されているため、製造に当たっては、設計初期から、安全寿命設計、フェールセーフ設計、損傷許容設計が取り入れられています。¹⁾

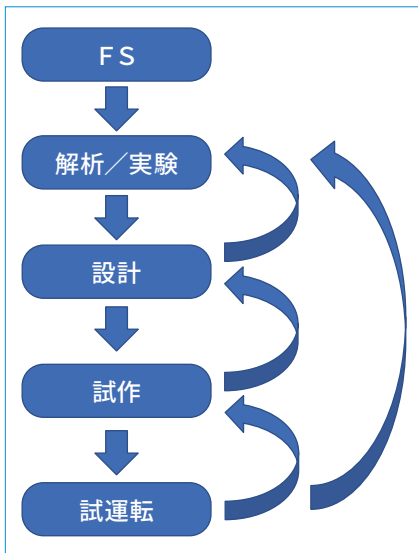


図2 装置の完成までは解析/実験を繰り返す

す。セキュリティーカメラの設置など、走行安全とは違ったリスク回避が必要になってきています。これらはすべて走行安全性を検討・評価して対策を行っているものです。

さて、鉄道システムは150年以上の歴史があり、安全対策をブラッシュアップしてきた経緯があります。鉄道の歴史=事故をなくすといってもよいほどです。しかし、すべてを事前に検討することは困難ですし、コストやリスクの発生確率を考えると、現実的には発生頻度の高いリスクへの対策を優先に検討する必要があります。このような背景を理解していただきたいと思ます。

ここでは、安全を評価する手段として、解析や実験について説明し、その後具体的なリスク検討例として水素燃料のリスクアセスメントについて述べたいと思ます。

研究開発と解析/実験

鉄道に限らず、装置を新たに作る場合、FS(フィージビリティスタディー、概念検討、実現性検討)→解析/実験→設計→試作→試験運転といった手順をとるのが一般的と思われ

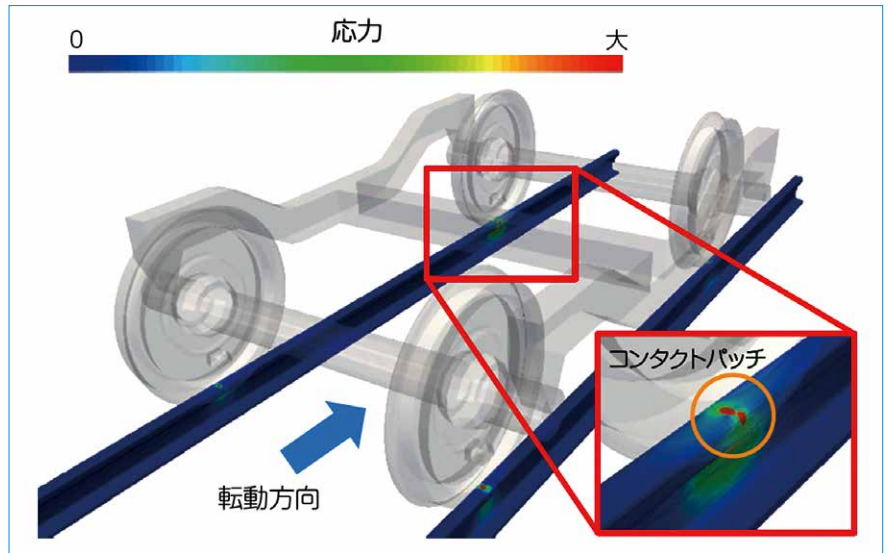


図3 数値計算例²⁾

ます(図2)。この手順の途中で予想と違った結果が出た場合、元に戻って再検討となります。例えば、ある装置が試験運転まで行ったのに、安全性の問題が顕在化して概念検討まで戻ってしまうということもありえます。まさに、走る前というのが重要で、概念検討や解析、実験を入念に行っておくことが、手戻りを少なくできる手段です。そこで、鉄道の研究開発における解析と実験について少し詳しく述べます。

【解析(数値計算)】

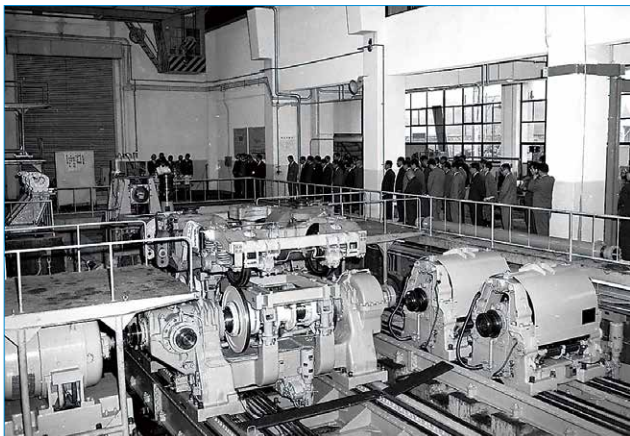
ここでいう解析とは、装置をモデル化して、計算により動作状態を模擬することとします。物理現象などを表現する基本方程式は、偏微分方程式で記述されている場合が多く、解析的に(紙と鉛筆で)解くことが難しいため、電子計算機による数値計算に頼ることがほとんどです。最近の電子計算機の発達は目覚ましく、数年前には不可能と思われたボリュームの計算を現実的な時間、場合によってはリアルタイムに解析することができるようになりました。とくに有限要素法のような、マトリックスを繰り返し計算で解くような手法に対応した計算機の発達が目覚ましく、このような手法を使う構造解析、

電磁界解析、流体解析などに威力を発揮しています(図3)。これらの解析で、解析領域が変形したり、電気現象と機械現象が連成する問題を解こうとすると計算機に大きなリソースが必要であるといった課題がありました。近年は計算機能力で凌駕してきた感があります。また、機械系のダンピングや磁界の非線形問題など、実現現象と解析がなかなか整合しないといった課題もありましたが、このような問題もかなり改善されてきています。

ただし、注意しなければならないことがあります。いずれの解析法も基本方程式を離散化し計算機上でシミュレーションするものであり、元のモデルに考慮されていない現象は再現できません。また、計算機は何らかの結果を出してしまうので、物理的にありえないとか現実的でない答えが出てしまうことがあります。計算機シミュレーション結果と人間の感覚とを照らしあわせよく吟味する必要があります。

【実験(定置試験)】

実験は計算機上の解析と違って、少なくともそのモデルは現実の現象を表しています。スケールが実物(1分の1)に近いほど考慮される多くの条件が網

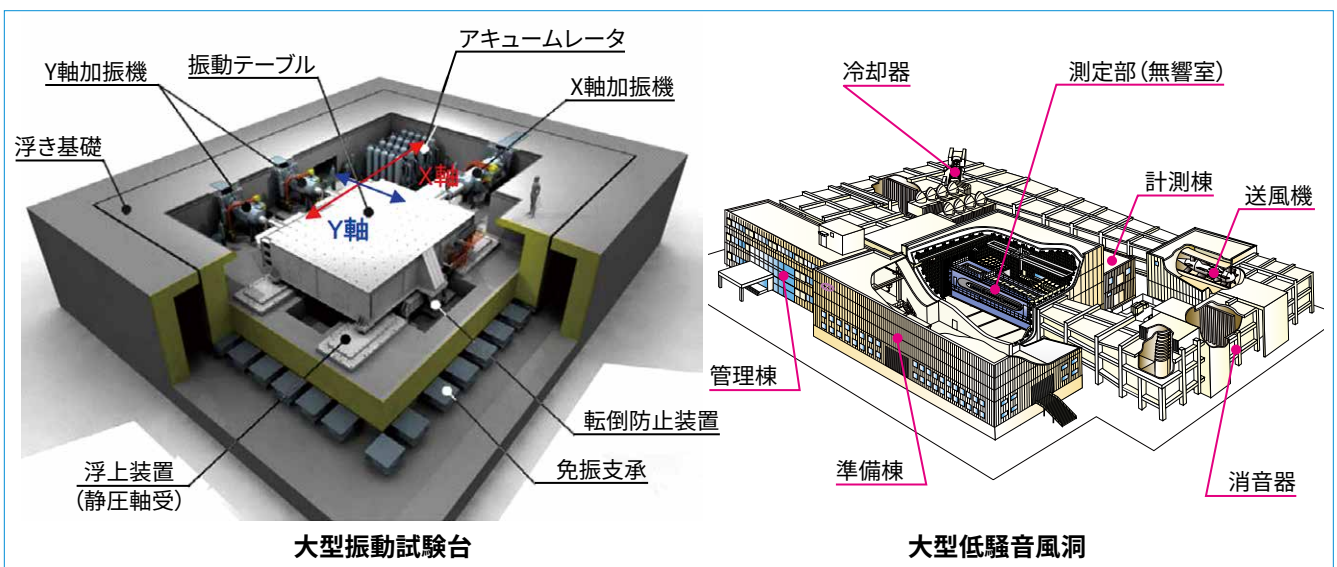


車両試験台(旧)³⁾



高速車両試験台(新)

図4 車両試験台



大型振動試験台

大型低騒音風洞

図5 大型試験設備

羅されていきますが、装置製作や運用コストが高くなるとともに、実験にかかる時間も長くなっていく傾向にあります。

そこで、ミニモデルや計算機シミュレーションと組み合わせることが不可欠で、このような手法が研究開発においては多用されています。

それでも鉄道の場合、実際に線路を走る前に実物大の実験を行うことが必要と考えられています。鉄道総研では、実物大の試験を行うために、車両の走行模擬をする車両試験台(図4)、地震時の揺れを模擬する大型振動試験台、騒音測定や空力現象を模擬するための

大型低騒音風洞(図5)などを活用しています。

水素燃料のリスクアセスメント

走る前に安全を評価した最近の具体例をあげます。

地球温暖化問題などの対応として、

脱化石燃料化のために燃料電池電車の開発が行われています⁴⁾(図6)。燃料電池電車は車載タンクに貯蔵した高圧水素(☞参照)と、空気中の酸素を化学反応させ、電気を作り、モーターを回して走る電車です。車両からのCO₂排出がない、電化設備がいらぬなど

☞ 高圧水素、高圧ガス

本邦の高圧ガス保安法では、35℃で1MPa(約10気圧)以上を「高圧ガス」と定義しています。水素のような可燃性ガスはとくに厳しく規制がされています。燃料電池用に車上に搭載する水素は35～70MPaという高圧で貯蔵されます。70MPaというとタンクの内壁には1cm²あたり700kgfという途方もない力が掛かります。手の指先を軽自動車で押し潰されるイメージです。このためタンクや配管について細かく基準が定められ、公的な機関で認定を行って、破損や破裂が起きないようにされています。



図6 燃料電池電車

のメリットがあります。一方で、高圧水素を安全に車両に貯蔵する技術や、万が一水素が配管などから漏洩した場合の安全性をよく検討しておかなければなりません。

まったく対策を行わずに、高圧水素を貯蔵する装置が破損してしまうと、水素が大気中に勢よく放出され、最悪、火災や爆発などの重大なリスクが想定されます。

そこで水素漏洩のリスクを事前に検証評価し、対策を設計に盛り込むことで安全を確保する必要があります。

鉄道総研では、実際に水素漏洩の実験を、営業線と同等の車両を使って行い、水素の拡散の様子、漏洩時の検知方法について検討しました⁵⁾。また、車両への水素貯蔵のリスクアセスメントを行い、想定されるリスクについて現実的な対策を提案しています。

先に述べたとおり、鉄道の技術開発は、ブラッシュアップの歴史であり、燃料電池のようなゼロからまったく新しいシステムを作るという例はありませんが、この水素の安全性については走る前に走行時の安全性を評価した最近の好例といえるでしょう。

おわりに

おわりにあたって、安全性評価について自動運転を考えてみます。

自動車を中心に自動運転技術の開発

が進められています。公共交通機関でも、新交通システムなどですでに無人運転が行われていますが、これらのシステムは、踏切がない、ホームドアを設置するなど、外部要因を極力排除したシステムで自動運転が行われています⁶⁾。一方、自動車では、人間や自転車、障害物などが存在するあらゆる状況を想定した道路において、自動運転を行おうというものです。自動車では現在でも、自動ブレーキなどでパターンマッチングなどの画像認識技術により、機械に状況を判断させるシステムが実用化されています。走る前に状況を想定しておいて、運転を行うというものです。

鉄道においても将来的には自動運転が導入されていくと思われます。しかし、一つ注意しておきたいのが、「走行前」に安全を評価しリスクを洗い出したとしても、すべての想定されるリスクに完璧な対策を打てるとは限りません。「走行前」に安全を評価しリスクを洗い出したとしても、すべての想定されるリスクに対策を打てるとは限りません。リスクが存在することがわかっている、発生確率やコスト、重さや大きさの制約で対策が打てない場合があります。極端な例ですと、火山が噴火して岩石が落下してくるようなリスクについて、ゼロではないが可能性がきわめて低いこと、決定的な

対策がないことから、想定はされるが、近くで噴火したら運転を取りやめましょうということになるかと思います。

このように人間が対応することを考慮した方が現実的な場合も多くあります。最後は「人間」、「手動」というシステムを作ることも走行時の安全を検討した立派な結論と考えられます。

RRR

文献

- 1) 応用機械工学編集部：航空機と設計技術（第4版）、大河出版、pp.216、1987
- 2) 坂井宏隆：車輪・レール間の接触挙動を再現する、RRR、Vol.77、No.4、pp.24-27、2020
- 3) 佐々木君章：車両試験台の軌跡と展望、RRR、Vol.72、No.11、pp.4-7、2015
- 4) 小川賢一、米山崇、須藤貴幸、柏木隆行、山本貴光：燃料電池ハイブリッド試験電車の高性能化、鉄道総研報告、Vol.34、No.5、pp.5-10、2020
- 5) 牛腸勇人、米山崇、須藤貴幸、水口芳樹：鉄道車両における燃料用高圧水素ガス利用に向けた技術検証項目、鉄道総研報告、Vol.33、No.10、pp.41-46、2019
- 6) 武藤雅威：在来鉄道への自動運転の適用、RRR、Vol.75、No.12、pp.36-37、2018