

# 知能列車による 安全性・信頼性向上



佐々木 君章  
Kimiaki Sasaki  
研究開発推進部 主管研究員  
[専門分野] 車両, 制御

車両の知能機能（センシング、通信、判断など）を強化することで、運転に関する人間と機械の役割分担を見直し、人間と機械を合わせた全体のシステム（マン・マシン系）の安全性を向上する仕組みの研究を行いました。本稿においては、この仕組みを取り入れた列車を「知能列車」と呼び、その構造や動作と実用化に向けての取り組みについて紹介します。

## はじめに

列車の運転の安全は、人間の注意力・判断力と機械（システム）の共同作業で保たれています。

機械は一定の手順で、誤りなくチェックするのが得意ですが、設計時に予測していないパターンの異常には対応できません。

一方、人間は時として誤りがあるものの、総合的な判断力に優れ、機械では検知できない危険性を五感を働かせて察知することができます。鉄道の運転方法は、このような人間と機械の長所を組み合わせ、安全性を高めています。

人間と機械の役割分担の仕方は決まった答があるわけではなく、技術の進歩や使われる状況により変化すると考えられます。

例えば、最初からホームドアが設置され、踏切がないなど外部と独立している新交通システムでは、自動運転が普通に行われていますが、一般の鉄道では運転士の注意力・判断力は不可欠です。一方で、最近の自動車の衝突防止ブレーキ<sup>1)</sup>のように、人間でなければ不可能と考えられてきた機能が技術

の進歩により実現されてきたものもあります。

本研究における開発の目標は、知能列車の仕組みを、踏切があり、ホームドアが完備されていない普通の路線に対して実現し、①非常時における運転士の情報処理の負荷を低減して、冷静な判断を支援すること、②運転士の機能喪失を含む非常事態に対して、安全に列車を停止させること、③装置の故障の予兆を検出し、致命的な事態に至る前に警告するなどの安全運行を支援する機能を実現することです。

## 知能列車の仕組み

### 全体構成

開発したシステムの全体構成を図1に示します。異常事象は「子知能」と呼ぶサブシステムが自分の受け持ち範囲を常時監視します。安全に影響するような異常を感知すると、子知能は異常の内容と、運転をどのようにすべきか（非常停止、減速など）を判断して、全体を統括する「親知能」に通信回線を介して送信します。

ところが、子知能の判断は自分の受け持ち分しか見ていないので、列車全

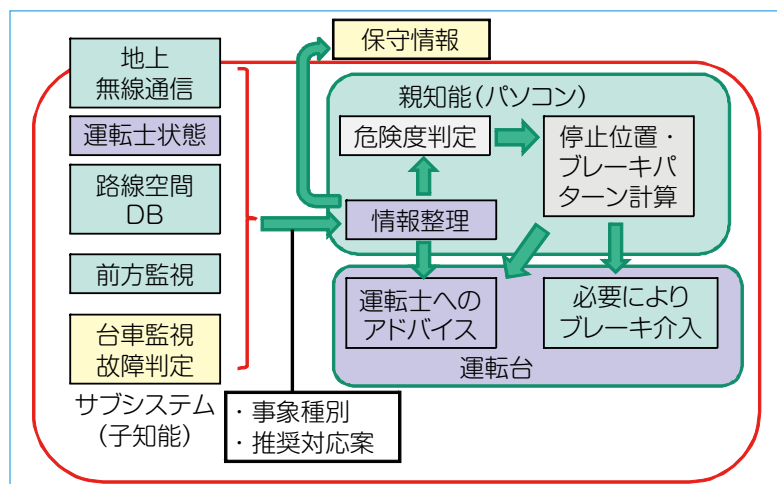


図1 知能列車の構成

体としてそれが最適とは限りません。例えば、火災を検知すると、子知能は親知能に対して停止するよう要求しますが、トンネルのように避難できない場所を走行しているときは停止は危険です。また、火災の時には種々の配線が焼け、多数の警報が同時に発報される可能性があります。このような警報をすべて運転士に伝え、運転士の情報処理能力を超え、火災という最も重要な事象を見落として、判断を誤る可能性があります。

このような状況において、親知能は走行状態や路線状況、ほかの子知能からの情報を総合的に見比べて判断し、現在の状況で行うべき運転方法を1つに絞り込んで、運転士に提示します。このとき、その運転方法の根拠となる事象の情報を合わせて示し、今何が起きているかを、短時間で運転士が理解することを助けます。

また、万一運転士の反応が無いときや、一刻を争う緊急事態では自動的にブレーキをかけ、安全な位置で停車させます。

一部の子知能では、例えば車軸軸受けの焼き付きのような、故障の予兆も監視しており、致命的な状態に至る前に運転士に警報を出したり、メンテナンスの注意を出すことも可能です。

各機能の内容については以下で説明します。

### 走行位置検出とデータベース

上記の判断を行うためには、この先の線路状況を知る必要があります。このため現在の走行位置を正確に検出す

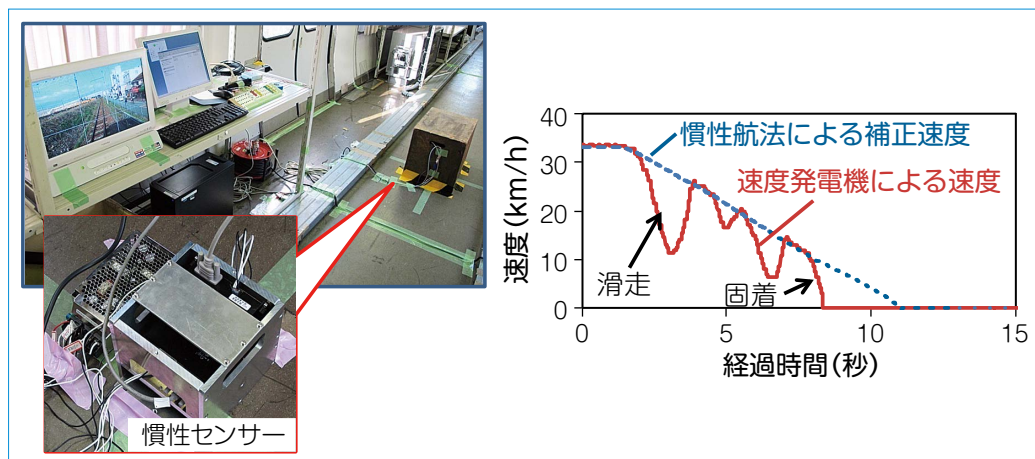


図2 高精度複合型列車位置検出装置

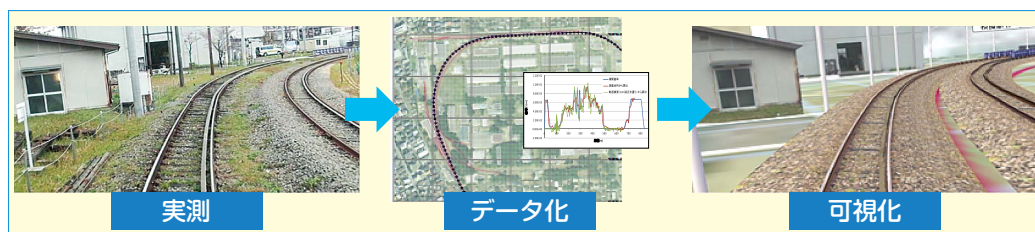


図3 データの可視化による整合性検証

る手段と、データベース（路線空間情報データベース）の作成方法の開発を行いました。

走行位置を正確に検出するために、**図2**の高精度複合型列車位置検出装置<sup>2)</sup>を開発しました。これは、車両に搭載したジャイロセンサー、加速度計と、速度発電機の信号から現在の走行位置を割り出すもので、車輪が空転しても平均的に数m、最大15m程度の誤差で走行位置を検出できます。

路線空間情報データベースは、曲率やカントなどの線路諸元や橋りょう・トンネルなどの構造物の情報、ポイントや踏切の位置など、路線に係る一切の情報を同じ形式で保持できるように工夫されています。知能列車の運転に全てのデータ種別が必要なわけではないので、この中から運転に必要な種別のデータを抽出して、無線通信で車両にダウンロードする仕組みになっています。

このデータの作成には既存のデータベースも使いますが、データ入力の仕事として、画像から踏切やポイント

などの地物を認識させ、データを作成する方法を考案しました。これは運転席から撮影した前方画像を、真上から見た画像（俯瞰画像）に変換して画像認識するものです。これにより地物の特徴点を抽出しやすくなり、位置を正確に割り出すことが可能になります。

一方で、入力されたデータの正確性を検証することも重要です。このため、**図3**のように、データベースのデータを可視化して、実際の風景と一致しているか確認するシステムを作りました。

### 安全な運転方法の判断

安全な停止位置を判断するために、**図4**のように走行継続リスクと地点リスクの2つのリスクを計算し、この和（総合リスク）が最小になるところに停止させる論理を考えました。

地点リスクは路線空間情報データベースに登録されているデータから計算します。また、走行継続リスクは発生している異常状態の種別に対応して計算します。

### 運転士との協調

非常時において、運転士が行うべき

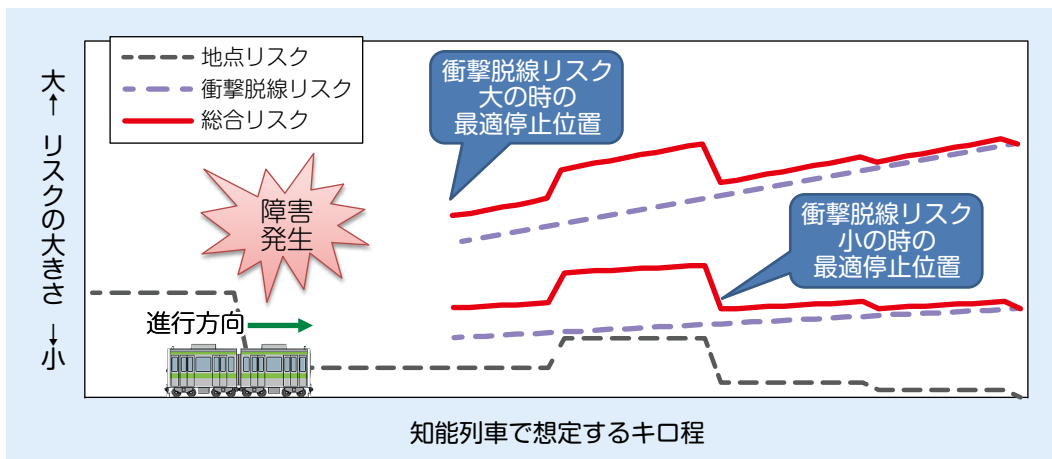


図4 安全な停止位置の決定方法

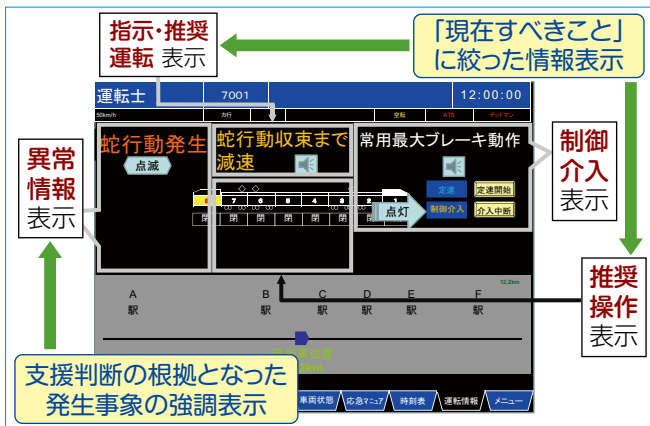


図5 パニックを抑える情報提示

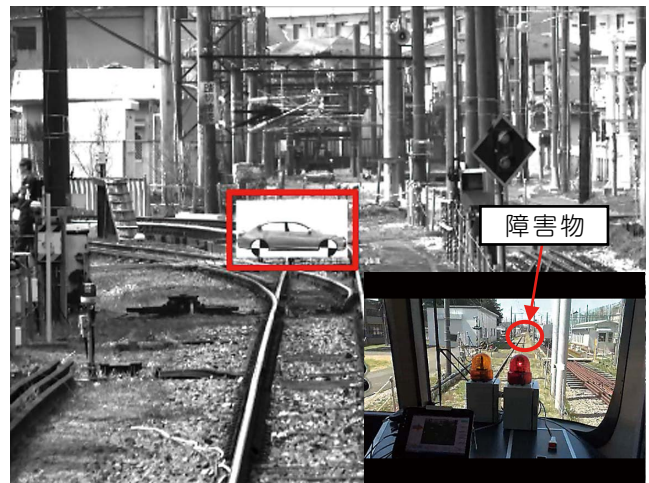


図6 前方障害物検知

ことは多岐にわたります。輻輳した状況の中で、運転士が冷静さを保ち、正しい判断ができるようにするために、どのような操作・表示系にするべきか、運転士経験者から聞き取り調査を行った結果を基にして、以下の方針を立てました。

- ①今起きていることが短時間で理解できる表示にする。このためには重要度の低い情報は伝えない。
  - ②今どう運転すべきかを迷わないように示す。このため、安全な運転パターンを一つに絞り込んで具体的に提示する。
  - ③なぜその運転パターンが決定されたのか、理由がわかるようにする。このため、運転パターン決定の根拠になった事象、制約要因を運転指示と同時に提示する。
- この方針で設計した運転士への提示

画面を図5に示します。

また、運転士の支援システムとして画像による前方障害物検知装置、眠気度検知装置を開発しました。

前者は走行中に前方面像を監視し、レールを基準とする危険範囲への障害物の進入を画像認識により検知して、警告するものです。図6に検知時のモニター画面を示します。後者は運転士の顔画像を赤外線撮影し、図7のように画像認識により瞬きや目の開き方の特徴から眠気の程度を判定して、程度に応じて警告や停止操作を行います。

### 台車状態の検知

台車には走行安全性に関係する機能が集約されており、各種センサーを設

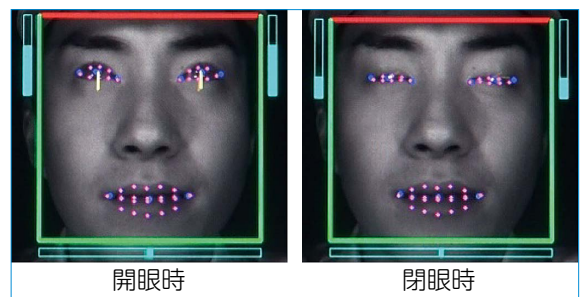


図7 眠気度検知

置して常時状態監視を行えば安全性向上に効果があると考えられます。しかし、台車内は激しい振動や温度変化にさらされる厳しい環境であり、弱点となる細いセンサー用ケーブルを台車内や車体との間に張り巡らすのは保守作業の観点からも好ましくありません。このため図8に示す「自律分散型台車健全性監視システム」<sup>3)</sup>を開発しました。

これはセンサー、マイコン、無線通

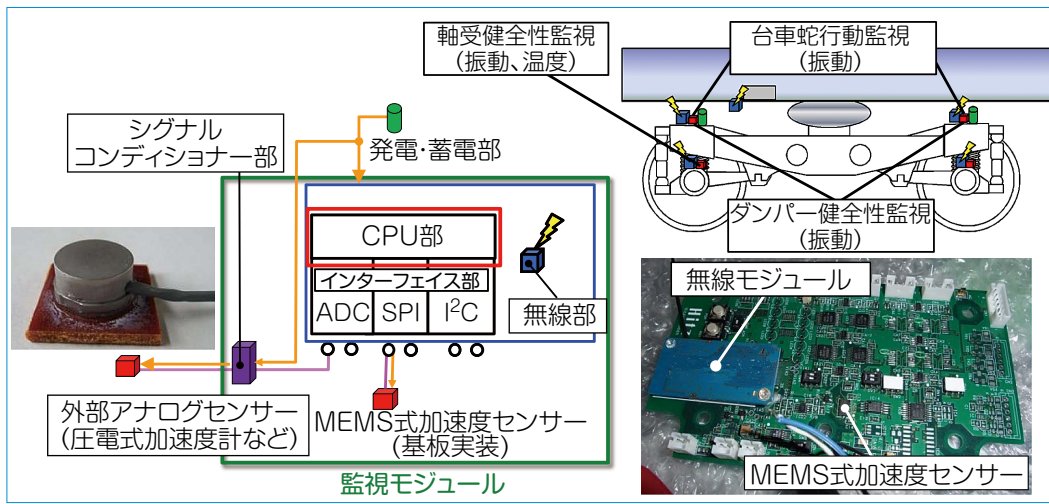


図8 自律分散型台車健全性監視システム

信部、振動発電素子を組み込んだ小型のモジュールを台車内の必要な場所に配置し、車体まで無線でデータを送るシステムです。

ユニット内のマイコンがデータ収集と信号処理を行い、データ量を圧縮して車体側に置かれた共通ユニットに送信します。共有ユニットは送られたデータから異常(故障)の特徴を検出して、親知能に対応案とともに送信します。本テーマでは蛇行動(☞参照)と車軸軸受の異常検出を例として測定システムの開発を行いました。監視モジュールは複数設置でき、適切なセンサーを選択することで、様々な監視対象に容易に対応できます。

### 総合動作試験

以上の試作装置を組み合わせ、知能列車としての動作検証を行いました。ただし、このシステムが想定しているような故障を本線上で発生させるのは安全面から困難なため、車両に相当す

る部分は既存の運転シミュレーターで模擬しました。また、前方障害物検知は実際の景色で認識できないと意味がないので、試験車両に設置し、所内試験線での走行により障害物が検知できることを確認しました(図6)。

以上の試験で、想定通りの動作が実現されていることを確認しました。

### 成果の活用

本テーマの目標である「車両の知能機能強化により運転士を補佐しマン・マシン系全体としての安全性を高める仕組み」は示せたと考えますが、例えばこれは容器であり、コンテンツとなる運転ルールは検討のために鉄道総研で設定した仮のものです。運転ルールについては厳密に事業者のルールと整合している必要があります。したがって、これを決めるパラメーターは事業者との間で綿密な調整を行いながら決定していく必要があると考えています。

一方、子知能に相当する要素技術では、使っただけそうなものがかつかでています。

無線によるデータベース更新は、ほぼ実用的なものとなっており、ATSデータの更新などに利用することが可能です。また、自律分散型台車健全性監視システムは、耐久性評価や発電素子の性能向上などの課題が残っていますが、測定・信号処理については実用に近いレベルまで開発が進んでいます。

### おわりに

知能列車による安全性・信頼性の向上について、開発したシステムの概要を紹介しました。それぞれの要素技術については今後も後継テーマにより性能向上を図り、早期の実用化を図っていきたいと考えています。[RRR]

### ☞ 蛇行動

蛇行動は高速走行しているときに発生する自励振動です。鉄道の輪軸は車輪に付けられたテーパの作用でレールの中心に沿って走ろうとする復元力が働きますが、この力が元になって高速時に左右振動が発散することがあります。この状態は横圧が大きくなって危険な状態です。速度を下げると治まる可能性が高いのですが、乗務員が乗っていない号車で発生すると、気付かずに走行してしまう可能性があります。本研究では蛇行動発生時に特徴的な周波数の振動が起こることに着目して、確実な検出方法を考案しました。

### 文献

- 1) 安藤憲一, 松井靖浩, 田中信壽: 歩行者事故の現状と自動ブレーキへの期待, 日本機械学会誌, Vol.118, No.1157, pp.192-195, 2015
- 2) 祇園昭宏: 速度発電機と慣性センサを併用した高精度列車位置検知システム, 第268回鉄道総研月例発表会講演要旨, Vol.268, 2013
- 3) 真木康隆, 朝比奈峰之, 小島崇: 台車健全性監視システムの開発, 第21回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-RAIL2014), 2014