

鉄道におけるリスク管理

飯山雄次*

新幹線は、鉄道の効用とその可能性を極限に近い形で実現することに成功したが、その特性の中でも開業以来無事故であり続けている安全性の実績は、安全計画上多くの示唆を与える。その安全性は、鉄道における安全技術の単なる集大成と異なり、あらゆるリスクについて想定し予防し、さらにそれらが存在し得ない方式を研究し、最適の組合せを求めたシステムづくりに由来する。それらを鉄道の誕生から新幹線までの歴史より考察する。

Risk Management on Railway Operation in Japan

Yuji Iiyama*

The Shinkansen is the result of the successful implementation of a system that very nearly realizes the theoretical utility and promise of rail-based systems. Among its many features, its continuing safety record of accident-free service since its founding gives many suggestions to the rail-based safety planning. Instead of simply compiling the safety techniques learned, all potential risks were first hypothesized and preventative measures formulated, and then research was conducted to create a system in which these risks could not exist. The safety of the Shinkansen derives from the system construction that demanded an ideal blend of elements. In this paper, we examine the system construction in the history of the railroad from its beginnings until the establishment of the bullet train.

1. はじめに

輸送機関と総称される陸・海・空の諸サービスの中でも鉄道は最も身近な存在でその歴史も古いが、その発達の歴史はいわば「事故との闘争」であった。その戦いに打ち勝つべく先人たちは知恵を絞った。考えた新兵器がフェール・セーフの元祖とされる腕木式信号機であり、タブレットを用いた閉塞方式などである。危険へのチャンス（可能性）をひとつずつ潰していったのである。

輸送するということは「人命」を一時預かって、場所を移動させることである。「リスク管理」という言葉が広く使われていない時代から、その使命から当然であろうが、「事故防止」という表現のもと、リスクをあらゆる角度から研究し、抜本的な対応を見いだすための努力が重ねられた。

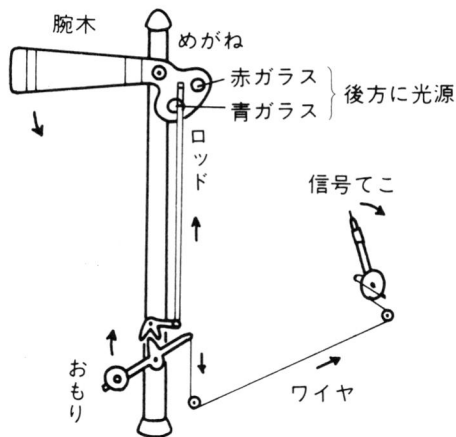
リスク(Risk)は、Chance of Bad Consequences と辞書 (Oxford) は明快に述べている。悪い結末を招くチャンスはあらゆる仕事であらゆる場面で生じ得る。リスクフルな現代を生きるわれわれにとって納得させられる表現である。

その幅広いリスクの中でも、突発的な物理・化学的プロセスの中で生命・財産に重大な危害が加わる場面は、日常、身近に生じる可能性を持っている。すなわち交通事故や爆発事故などの発生である。

故意に仕組まれた犯罪的なものを除けば、過失や悪条件の重なりが原因であろうが、リスクを胚胎していた状況下であったと表現することもできる。しかし、失われた人命は戻ってこないし、再び入できないような貴重な文化財もあるであろう。事故の発生の可能性そのものを極限まで減らす努力が必要なのである。中でも輸送サービスの提供者の責務は重い。本質的に危険の可能性を内蔵しないサービスを考えねばならないからである。

その後、鉄道における事故の防止は、関係者の努力にも拘らず世界的に見ても限界の状況にあると見

* 千葉工業大学工業経営学科教授
Professor, Industrial Management,
Chiba Institute of Technology
原稿受理 1992年9月22日



信号てこを矢印の方へ引くとシグナル本体(腕木)が下る(進行の指示)、腕木水平位置は停止の指示。もし、ワイヤが切れたら、おもりの作用で腕木は水平、ロッドが折れても、腕木はめがね側が重いので水平となり、安全側(停止指示)となる。

Fig.1 腕木式信号機のフェールセーフ構成

られていたとき、これらの安全装置の集大成だけでなく、トータルのシステムとしての結合と、バランスを考える新しい視点によってリスクをミニマムに仕上げたのが新幹線であった、と言ってよいであろう。1964年(昭39)の開業以来30億人以上の旅客を輸送しながら、一人の死傷者を出すことなく運営されている実績は、単純に優れた個別技術や訓練された従業員などの条件が揃ったから、とだけでは説明しきれないものを持つのである。

ここでは、輸送機関の中では長い歴史を持つ鉄道が辿りついた「無事故であり続けている新幹線」にこめられた安全への発想と、その取組みにいたる過程を概観して、リスク管理を探る一助としたい。

2. 鉄道における安全への目覚めと取組みの軌跡 ——その技術史的考察

産業革命における偉大な発明の一つとして鉄道は登場した。実験的作品の多くある中で、スチブソンのロケット号が実用型SL第1号の栄誉をかちとる。ところが1829年歴史に残る処女運行の日、集まった群衆の中の一人を轢いてしまうのである。

歴史に残る栄光の日、また歴史に残る鉄道による人身事故の第1号発生の日にもなったのである。ロケット号は、まだ効果的なブレーキらしい仕掛けを持っていなかった。馬車に範をとった蒸気車だが、馬の持つ駆動力を真似るのみで、馬がときに見せる急停止の動作は見落としたのであろう。

事故防止にかける執念に近い鉄道の取り組みは、これらの出来事と無縁でないのかもしれない。

その後、鉄道は、リスクを孕みながらも、その画期的効用のゆえに称賛されて発展する。

だが、レールにガイドされ操舵の自由を持たない(別の視点では利点にもなるが)鉄道は、やがて幾つもの課題に直面する。レールの上を一つの列車が機織りするように往復するうちはまだよいが、複数の列車を能率よく動かそうとすると、列車の行き違いの仕掛けが必要となる。同じ線路で2本の列車が正面衝突・追突する事態は絶対避けねばならない。これを解決するためには行き違い場所(停車場)間の線路には一個列車しか存在しないルールとすればよい。閉塞方式(ブロック)と呼ばれるが、次はその確実化である。

入門証のような「通行証」を区間ごとに制定し、一個しかないその区間限定の通行証を持つ列車のみが走るようにするのである。やがてこれをマシンが確認しその次の区間の通行証(タブレット、通票)を発行するシステムが駅に設置され普及する。

列車に対し、発車許可や停止指示を伝える信号機も必要な設備であった。速度のある列車が対象であるので、その設置位置は停車場から離れる。そのためワイヤーを介しての遠隔操作となるが、ここで生じるトラブルの可能性がその断線や信号機本体のさまざまな故障である。「停止」の指示の操作をしたにも拘らず、信号機は「進行」のままであったケースを想定すると、きわめて危険である。逆のケースすなわち進行を指示したが停止のままの場合は列車は遅れるかもしれないが、危険には結びつかない。このため、Fig.1に示すような構造を採用してワイヤーが切れても、ロッドが折れても、腕木と呼ばれる信号板は水平位置(停止)を示すようにしてある。のちにフェール・セイフと呼ばれる原理である。これはその後、自動信号など高度なシステムに移行しても、作動の基本原則として引き継がれていく。この他、信号機とレールの分岐器(ポイント)のインターロックによって、正しい方向にレールが分岐していないと信号機が進行の表示(青)にならないなど、随所に危険の可能性を封じこめるハードの工夫が積み上げられていく。

このような努力の積み重ねで、リスクの少ない安全な輸送機関として鉄道は定着し全盛期を迎える。だが、今世紀の中頃から航空機の発達と共に長距離の輸送分野で翳りをみせはじめる。輸送の本質的な

評価の尺度である速さにおいて劣ったからである。

鉄道の質的变化はこのような背景のもとに、世界的現象として進行した。わが国においても事情は同じで、電化、複線化、高速車両化、自動信号化などいわゆる近代化が精力的に進められた。これらは、個別には能率（高速化）と安全に寄与したが、総体としては小事故は減ったものの、ときに大事故として発生することがあった。

原因は種々であるが、ここでクローズアップしてきたのが人的原因によるものと、近代化によって性能差の大きい列車が同じ線路を走り、異なる方式の設備が設置されるなど、新旧技術の混在の時期を迎えたことによる歪み、すなわちリスクの増大と顕在化とでもいうべき事象であった。後者によるトラブルとしては踏切がある。例えば高速の列車が投入される線区の踏切では、これまで以上に遠い位置で列車を検知して、踏切を作動させねば間に合わない。このように改良した踏切では、遅い速度の貨物列車に対してはこれまで以上の長い時間、踏切は閉鎖されることとなる。無謀なドライバーは待ちきれずに踏切に侵入する。いきおい事故が増える傾向となった。列車速度対応型の踏切改善もされたが、全踏切には対応できなかった。「外乱」としての踏切のリスクが重要課題として、クローズアップすることともなった。

人的原因によるものでは、信号の見落とし、誤認、さらにその原因としての過労・単調・錯誤などがあり、旧来の精神主義的教育訓練から人間科学（労働科学）的な解明と対策が進められるようになった。例えば、心理適性検査を職種に応じて内容を検討し直して実施することを制度化したり、乗務員の勤務体制は、乗務開始時刻と深夜勤務時間の長さの適正値の研究にもとづいてルール化されるなど、諸種の改善が進められた。

一方、人間を支援する装置、例えば赤信号の見落としを電氣的に検知して強制的にブレーキをかけるATS（自動列車停止装置）などが全線区に装備された。しかし残念ながら完全ではなかった。すなわち、重要な局面で全時間にわたって人間をバックアップするものではなく、その局面の入口にあたる場所で一種の「覚醒度テスト」的なものを行い、OKならそのあとは、バックアップなしで運転を継続させる方式であった。

いま顧みると、技術的というより、経費も絡んで視野の狭い対応を余儀なくされていた、と思われる。

本質的な問題は、人間と機械の組合せ（特にバックアップ装置など）において、主導権に関する明快な哲学の不十分のまま、人間と機械をそれぞれ「便宜に利用」して、ある目的に向かわせた点である。中途半端な自動化／機械化であったことが、リスクを作り込んでいたのである（新幹線では、後述するように「機械主導、人間はその背後で支援」型のATCとしたため、哲学不備の混乱とは、ならなかった）。

諸外国でも事情は同じで対応も大同小異であり、自動化などをさらに進めた末梢の技術は開発され進歩したが、抜本的かつ救世主的な発想は現われることはなかった。

近代化に懸命であったそのさ中、わが国においては東海道本線の輸送能力が折からの目覚ましい経済復興の流れの中で、それ程遠くない時期に完全に限界に達することが明らかとなり、国家的見地からもその対応が緊急課題であると認識されたのである。

そこで東海道の輸送力をどのような方法によって増強するか、当時の国鉄が全力をあげて検討し具体策を作成することになったのである。昭和31年のことであった。

新幹線はこの中から生まれることとなった。

3. 新幹線の計画とリスク管理への取組み

3-1 論議を呼んだ計画3案と最終決定

昭和30年代に入ったばかりのわが国は、ようやく復興期から発展期へ移行しようとする頃であり、財政的な体力はまだ弱かった。だが、鉄道技術については格段の進歩を遂げつつあった。

昭和31年5月に、当時の国鉄部内に設置された「東海道幹線増強調査会」は、対策案を次の3案に絞り込んだ。すなわち、

- (1)狭軌で在来東海道本線と平行して線路増設する複線化
- (2)狭軌だが、在来東海道本線とは別ルートで敷設（狭軌別線による複々線化）
- (3)広軌（標準軌）による別線を、別ルートで敷設（広軌別線による複々線化）

これらについてあらゆる角度から検討した結果、工事費が膨大となるが将来に悔いを残さぬ第3案によることとなった（昭和33年12月）。財政基盤の脆弱な当時のわが国にとっては、画期的な決定である。その理由となった主な因子は、次の5点である。

- (1)高速度運転に必要な技術的解明が理論的および実証の両面で相当に進んでいた。

- (2)東京—大阪3時間運転が可能となり、経営上および国家経済上もメリットが計りしれない程大きい。
- (3)第2次大戦前、昭和初期に一度計画された東京—下関弾丸列車構想によって計画されたルートと、既に取得した用地の大幅な転用が期待でき、工期短縮にも貢献できる。
- (4)優秀な各分野の要員の充当の見込みがあり不安がなかった。
- (5)社会的合意が得られ、資金については、ときの総裁(十河信二)の努力により、世銀からの借入が可能となった。総裁は、資金不足によって姑息な技術対応とならないよう要望した。(後日、大幅な予算オーバーとなるが、職を賭して計画を完成させた)。

新幹線建設のゴーサインと共に大プロジェクトチームが発足し活動を開始した。このチームは強力な構成であったが、同時にその活動を支えたものにその「独立性」があった。古いしきたりや発想に拘る必要がなかったのである(のちに新幹線総局として国鉄内の独立組織になり、関東軍のニックネームを生む)。

3-2 安全最優先のシステム計画

新幹線は東京—大阪間を3時間で走る性能を基本に計画された。これは従来の特急列車の所要時間の半分以下である。すなわち、列車の常用速度は毎時200キロ以上の設定となる。これを可能とする基礎技術は在来線の高速度化計画の中で着々と積み上げられていた。だが、毎時210キロ営業走行の実績はない。それはまだ「未到の分野」であったのである。

ここで各分野について、綿密な研究と実験が進められた。それは、レールと車輪の関係から、パンタグラフと架線の関係など、基本的な部分から、高速における編成車両の運動特性、高速集電特性、多くの列車をダイヤどおり運行させるための高度な管理システムまで、あらゆる分野にまたがった。当時の技術研究所など研究機関の役割は大きく、これらのほとんどについて重要な位置づけで活動した。

ここで特筆すべきことは、これらの技術をシステムとして取りまとめるにあたっての哲学である。

当時、計画の総指揮をとった島秀雄技師長(技術担当副総裁)は、①安全の最優先、②実績のある技術、未到分野については証明された技術の使用、③システムとしての整合、を強く指示した。

冒険は許されなかった。これは言葉を変えれば、リスクの存在しない鉄道に徹したのである。新幹線

は毎時200キロを越す速度で走行する。物理的な諸現象は速度の二乗あるいはそれ以上に比例して働く。実験研究レベルと責任ある実用レベルを峻別した。この臆病とまで見られる程の安全への姿勢が、「安全に生まれついている」新幹線を登場させたと言えることができる(この大方針的的確さは開業後のトラブルの少なさ、初期故障が生じてその早期收拾ほかシステム維持の容易さなど随所で立証されることとなった)。

この安全哲学のもとに一次安全の確保に全力が注がれる。一次安全は予防安全の一部だが、より前進した考え方と理解してよい。衛生学の分野でいわれる一次予防(Primary Prevention)としての、「病気をよせつけない体を作る」とか「病気そのものを撲滅してしまう」と同じ発想で、「事故そのものが存在し得ない状態を作る」考え方である。これに対し二次予防(Secondary Prevention)が従来からの予防の考え方で、病気の存在を前提にしてその予防を考えるものであり、例えばがいの励行などである。安全で言えばシートベルトなどであろう。

当時このような用語(一次安全)はなかったが、「危険の可能性の存在自体を排除してしまう」ことを命題として努力が続けられたのである。

4. 新幹線のリスク管理のスケルトンとその細部

4-1 一次安全の徹底

——リスクの存在しない方式の模索

1) システム構成の安定を目指す技術の厳選

一次安全を突き詰めていくと、システムの発想が根幹となることが分かってくる。システムは秩序でもある。例えば、駆動力よりブレーキ能力のほうが勝る必要がある。ドイツの名車ベンツの設計哲学である「シャシーよりも速いエンジンは作るな」も同じ発想であろう。安全を評価尺度のトップにおけば当然の条項である。鉄道の場合、鉄のレールと鉄の車輪の粘着の限界も考慮に入れて、その最善を考えねばならなかった。システムは複数のものを視野に入れて考える。パンタグラフと架線は個別にも高速用に知恵を絞ったが、両者の「相性」の重要性、その中でも両者のダイナミックな特性の相性の重要さを切実に知る場面もあった。

新幹線に投入された技術は、証明されかつ総体とのバランスのよい技術群であった。

一方でシンプルシティもシステム特性の安定化、従って安全に貢献する。新幹線の開業時の車両は、

「ひかり」「こだま」すべて同性能（出力、加減速度など）であった。これは、運用管理、保全、訓練いづれをとってもリスク管理上、きわめて有利であった。

2) 外乱の研究とその徹底的排除

システムには外部環境がある。新幹線システムがその内部でどのように完璧に安全であっても、外乱による重大な干渉があったとすると、安全上大きな影響を受ける。システムはその防衛も必要である。

新幹線の場合、建設時の基本構想段階（概念の構築の段階）で外乱のトップに位置する踏切のリスクを無縁のものとする方針で臨んだ。すなわち、全線の立体交差化である。それを一步進めれば全線高架化であり、地形、地盤状況から許す限り実施した。

新幹線の高架化は、カーブを減らしあるいは緩やかにする効果と合わせて、外乱によるリスクを極限にまで減らしたのである。実施にあたっては、立体交差部で道路の方が上を通る箇所も若干あったが、これらに対しては、頑丈な防護柵（ブルドーザーの転落を阻止する強度を持つ）を設けて対処した。地形上、道路と並走するような箇所はすべてフェンスを設け、侵入者や侵入車を防いだ。残る上部からくる外乱は航空機や隕石などの落下とみられるが、直撃でなければ、車両の前面下部の排障器（スカート部分、16mm戦車鋼板6枚重ね-96mm）で線路から排除する。厳密に外乱リスクを皆無にすることはできないが、確率現象としてみれば万全の体制と考えてよいと思われる。

電子技術も多く用いられたので、ノイズチェックなどシステム完成時に厳重に実施された（しかし後述するように、周縁部分の増改築の影響で苦杯を嘗めることとなる）。

3) 外乱排除へのソフトの対応の強化

——法律による支援（特例法の施行）

新幹線におけるリスク封じ込め対策でユニークなものの代表として、法律による支援がある。これは新幹線特例法と呼ばれるもので、飛行場への一般人の立ち入り厳禁と全く同様の趣旨と内容である。

この法律は、その実効もさることながら、超高速列車への科学的理解を助けることともなり、線路への立ち入りは皆無に近い実績となった（後日、外国で超高速鉄道への関心が高くなった頃、ドイツなどはこの法律文を範として研究まで行った）。

4) 作業の性格差による分離・隔離

線路および電気を供給するための架線の保守は、

メンテナンス・フリー化を進めても、検査を含めて電気鉄道として必須の作業である。これは列車の安全な運行に欠かせないものであるが、新幹線の運営レベルでは慣例によらず、保守時間帯を別途に夜間に設定して、運行と保守が同時時間帯に混在して相互に「外乱」とならないよう配慮した。これによって大型の高性能の作業機械が投入でき、効率向上と共に相互にリスクイナ作業が皆無となった。

営業列車と同時開発した7両編成の高速電気軌道総合試験車の配備も特徴ある存在である。この車両は、約10日に1回の頻度で営業列車と同じ速度で線路、架線などの諸施設を検査し、計測データを車内の高性能の診断装置で処理して要精密点検箇所の摘出や、修理時期の予測などを行っている（黄色の車体の編成なのでドクターイエローと呼ばれて現場では親しまれており、また米国から訪れた技術調査団が即時購入したいと申し出た逸話も残っている）。

在来線ではできなかった方式であった。

5) 鉄道の宿命的リスクを解決したATC

列車群を秩序正しく、安全に運行させる技術は、鉄道運用の技術の中で最も知恵を絞る分野である。最もリスクを孕む部分と言ってもよいであろう。従来は前述の閉塞方式や信号機などに支えられつつ、車両の性能（特に被制御特性）と操作する運転士の技量と注意力に依存して、多くの列車が線路上を走ったのである。それは毎時200キロでも不可能ではないが、列車の運転間隔が5分ほどの高密度ともなるとリスクが大き過ぎる。わずかな人間のエラー（誤判断、誤操作など）が操舵回避ができない鉄道の作業では致命的な事態を生む。運転士のミスでなくとも毎時200キロを越す速度では、人間の視認に依存するには大型強力な信号灯火が必要で、さらに地形・天候を考えると不安な要素が多過ぎるからである。

新幹線の計画では、これをハードの役割とし、電気、機械、車両などの各専門分野を包含する体制で有効確実なシステムを開発した。ATC（列車自動制御装置）と呼ばれ、先行列車の位置により自分の列車の速度が自動的に減速制御されるものである。

装置は世界最高水準をいく高信頼性が保持されているため、人間による信号誤認やバックアップする機器に過度に依存することによるエラーの発生など、これまでの鉄道の宿命に近いリスクから解放されることとなった（Fig.2）。新幹線の最大の特色である。

加速は発車とあわせ運転士の操作である。責任を持つ運転士が他の諸条件との総合判断をするため

あり、モラルを高めるためにも加速の安易な完全自動化は採用しなかった（全自動化技術は開発済み）。リスクの極少化を考えた上での、人間と機械の役割分担の最適化の視点であり、後日の実績からも確かな選択であった。哲学の重要さが立証されることにもなった。

新幹線ATCによる速度指示は、30km/h、170km/h、210km/h（当時）が指示される。レールは約3km毎に区切っており、先行列車の位置による信号電流の周波数の違いを検知して規定速度が指示され、自動減速される。3区間以上の距離があるときは最高速度(210km/h)許容が速度計に示される。速度指示には運転上の必要から70km/hと110km/hの指示も出る。

6) 高速列車群を「一括統率」するCTC

従来の鉄道では、「列車ダイヤグラム-通称ダイヤ」に基づき、各駅で信号や分岐器（ポイント）を操作し、非自動区間ではタブレット授受をも行って時間（ダイヤ）どおり列車の運行が保持された。その責任者は駅長であった。ダイヤの乱れが生じると、地区の管理局の担当直の指示により発車時刻や先発列車の変更などを行った。古くからの方式であり、必ずしも迅速的確とは言えなかった。

新幹線では前述のATCとあわせて、高速運転中の列車群を一元管理して安全と効率を高め、ダイヤの

乱れに対しても迅速な対応ができることを目標に、CTC（Centralized Traffic Control 列車集中制御装置）を設置した。小規模のCTCの研究と実用化は在来線において進んでいたが、このCTCは大規模で全列車を一括して統率管理するものである。

全列車に搭載した無線装置とあいまって、効果的な管理が可能となった。このCTCの機能を中心に総合指令室が構成され、輸送指令（列車・旅客）、運用指令、施設指令、電力指令、信号通信指令が一体となって、「頭脳」を形成している。

情報・認識の時間ずれが殆どなく、対応が部署によって異なることがないメリットは、認識の混乱からくるリスクの極少化に大きく貢献した。

4-2 原寸大モデルシステムによる検証の手順
—モデル線区による実験

新幹線のリスク管理を成功させた功績ある手順としてモデル線区の設定がある。

通常、例えば車両などを単体で試作し、あらゆる角度からテストし問題点を抽出し改善することや、化学工場の建設に先立つパイロット・プラントなどは常識である。新幹線では、これらの手順に重ねてシステムの整合が、実際の運用時と同条件で大丈夫か否かを知るために、一部区間（新横浜-小田原の一部分37km）をモデル線区として開業2年前に完成させ、車両はじめ総システムを実際の条件で繰り返

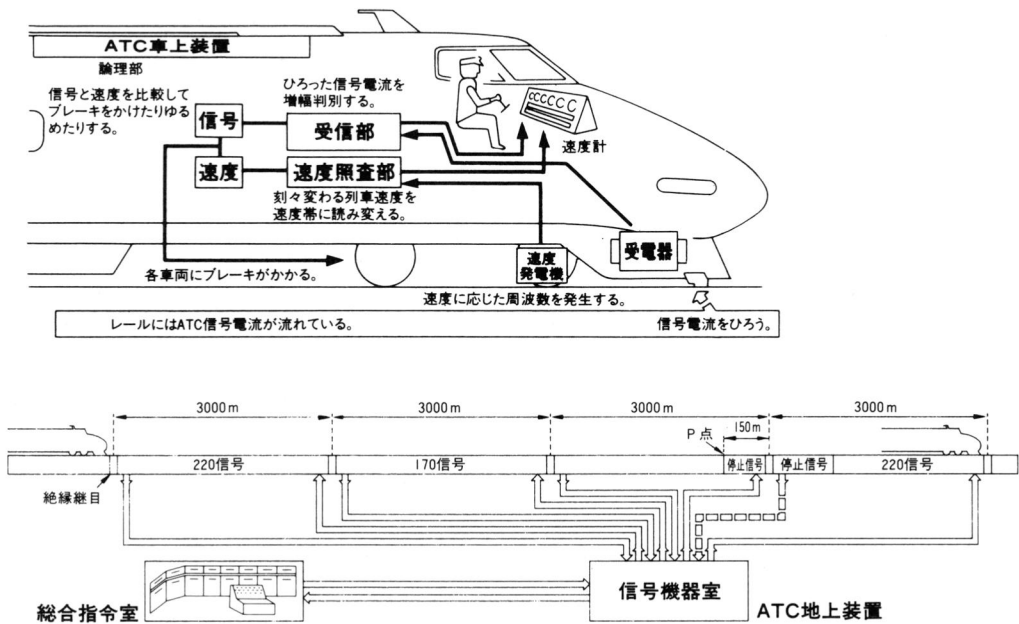


Fig.2 新幹線のATCの構成

しテストし、単体としてはもとより、システム整合の問題点などについても徹底的に検証する作業を重ね、必要な修正などが実施された。

これらのいわば「原寸大フル装備の動的モデル」線区は、予想以上の効用を発揮した。特に未到分野に対する技術の最終的「証明」は、ここで確かめられて実施に移されるなど、「自信を持って開業」することに大きく貢献した。

この線区はそのまま開業後は本線の一部となり、いまではその当時の面影は見られない。

4-3 ヒューマン・ファクターにおける リスク管理

前述したATCでは、発車・加速は運転士の役割であることを述べたが、随所に自動システムを取り入れても、自動化がカバーしきれない事象を含め、システムの最終責任を機械はとることはできない。加えて多数の人命を預かる列車であるので、乗務員の中でハードの専門家としても位置づけられる運転士については、その資質・適性を医学・心理学からチェックすると共に、「全く新しい方式の鉄道」であることを教育し、必要な訓練を重ねた。すなわち、従来の鉄道と異なり、「装置型」の鉄道であるため、特に安全に関しては速度制限の「外枠」は機械(ATC)が守護してくれている。その内側でどのように円滑に運転するか、品質の高い乗心地を提供するか、などと共に、高度なシステムに支援されつつも、「乗客の生命を預かるシステム責任者」としての応急動作等、多様な訓練内容であった。

運転士等の勤務体系は、労働生理学に基づく研究成果から、高い合理性をもつものとなっている。運転士用の椅子も、大脳の意識レベルを高く保持できるなど人間工学的に配慮されたものとなっている。

運転士、駅その他の関係者を支援するソフトとしてマニュアル、チェックリストなども用途別、現象別に、心理学チームも参加して整備されている。

これらの対応は国鉄内部の労働科学(人間科学)研究所に負うところが多い。

5. リスク管理に教訓を与えた開業後の システム安全上のトラブルと対応

新幹線は開業後今日まで旅客の死傷者もなく安全に推移しているが、システム安全の視点からは、虚をつかれた感のあるトラブルを数件起こしている。

死傷者は勿論のこと設備・車両にもほとんど被害はなかったが、それぞれにリスク管理上教訓に満ち

た事件であった。

1) 小道具が招いた危険なオーバーラン

昭和48年2月21日関ヶ原付近の雪のためダイヤが乱れていたとき、大阪烏飼基地から回送列車が大阪へ向け定刻発車した。5分ほど遅れている本線の「こだま143」を通過させてから本線に乗入れるのだが、合流点の手前で待機すればよい。基地内の信号は別系統であるので発車許可の70信号が発信され発車したのである。そのあと、最徐行の30信号を受けたので、ゆっくりと進んでいった。回送列車の運転士にはダイヤ全体の現状はわからない。信号の指示と基地内のローカルの規則を守って運転すればよい。次に70信号が指示されたので速度を25km/hに保ちながら合流点に向った。ところが、本線との合流点のポイント手前で、運転台速度計に指示される速度信号表示が70から160へ、すぐに210に変わり今度は0また210と目まぐるしく変化した。「信号がおかしい」と直感した運転士は前方を確認した。ところが、ポイントは本線側に開通しており、自車側には開通していなかった。驚いて急停止したが、車両の先端は本線上に顔を出していた。

この1分前、本線上を時速199kmで進行中の「こだま143」は上記ポイント手前2.5kmでATC信号が210から30に変わり、自動的に非常ブレーキがかかった。ATCが回送列車の異常事態をキャッチしたためであった。結局、顔を出した基地からの回送列車の手前約500mで停止してことなきを得た。

大調査団によって深夜の大実験が行われ、問題点が少しずつ解明されていったが、困難を極めた。細部は省略するが、ブレーキをかけた車両が滑走する場面が出現した。これが回送列車が容易に停止せず本線上に乗り出した直接原因であるが、その原因はきついカーブとなっているレールの摩耗を防止する目的で、レールの内側に常時塗ってある油がレール面上に出たため条件が悪いと滑走する。これを滑走検知装置が検知してブレーキを緩める。各車軸がバラバラにこれを繰り返すため、結果として車両同士は玉突き状態になりブレーキ距離も単なる滑走より延びることとなった。

皮肉なことだが、レールを長持ちさせようとする小道具ともいえる油が、大システムを惨事の一步手前に追い込む「外乱」として作用したものである。

一方、ATCについても詳細な再現調査が行われたが、本来ならば0(0₃)信号が指されるところを、車内の信号現示装置の異常な誤接触により70信号が

指示されたため、運転士が約25k/mで進行を続け、絶対停止の0₃信号区間に突入したが0₃信号が短時間(2秒以内)不安定だったため、非常ブレーキの作動遅れを招きオーバーランを起こしたと見られ、システム改良を促すことともなった。これらは秒刻みの記録装置に残されたデータが手がかりとなり、ポイントの直前転換とオーバーランの2つの事象に絞り込まれた末の実験による検証であった。

2) システム周辺の工事が招いたATCの異常

昭和49年9月12日、下りひかり81が、品川付近でATC信号が70信号から突然0信号になり非常ブレーキで停止した。同じ頃、こだま120も同様な異常を報告してきた。状況から明らかな異常信号であった。

調査の結果、現場付近で一時的に発生したATC信号回路の停電事故のさなかの出来事と分かった。この原因調査も困難を極めたが、やがて次のような事情が判明する。再現テストを種々の条件で実施したところ、信号回路を停電状態にすると、幻の70信号が待機していたテストこだまの運転台に指示された。各所にセットした測定器のデータから、その電流は信号機器室からの発信で、周波数はきわめて70信号に近いが本物ではなかった。これはATC機器室の一階にある電源室にある、洗浄装置用の変圧器の高圧電源が異常信号電流の発生源であることが分かった。いつもは(停電時でなければ)ノイズとして濾過され表面に出なかったのである。さらに、洗浄用モーターの効率を高める進相コンデンサーの設置が、共振によってこの擬似信号を強くしていることも分かった。

開業時には、この自動洗浄装置はなかったため、当時の厳密なノイズ・テストは難なくパスしていたのであった。それにしても電線を伝わり紛れ込む「意味のあるノイズ」の恐さ、眼に見えない電波等の恐さは、今後のリスク管理上の教訓である。

以上の二例とも、些細な脇役たちが大システムの根幹を揺るがすような大事件を起こした点では共通している。システムの周りの辺縁部に潜むリスクには、今後とも重大な関心を寄せるべきであろう。

あわせて、一旦完成したシステムの改変・増強も思いがけないリスクの温床を作ることと銘記すべきであろう。

6. 「経年という未到分野」への試練と対応

新幹線が開業しておよそ10年が経過する頃、前章に述べた事故をはじめ幾つかのトラブルが発生した。

いずれも大事には至っていないが、事態を重視した国鉄本社では、「新幹線システム」が内蔵しているかも知れない問題点すなわちリスクを、さらに研ぎすました視点で洗い出すため、関係部所の責任者を動員した大委員会を設置した。

新幹線総合調査委員会と呼ばれたが、特に重要な5つの分野については分科会が設置された。電気局長を分科会主査に、前述のATCを外乱に強い2周波化移行を中心に研究と実施計画が討議され、マンマシン分科会は、大システムの管理とインターフェイスの課題を中心に、調査研究と実施の検討を進めることとなり、筆者が主査を務めた。

それらの細部を述べる紙面はないが、システムの規模の「最適化」をはじめ、多くの検討事項、改善事項が提言され実施への方向が示された。なかでも「経年」による予想外のトラブルの兆候など、未到分野はいまも作られつつあり、それらが生むリスクへの警戒は常にあることが実感された。

この間においても技術は進歩し続けている。これらを適材適所に投入してシステムの陳腐化を防ぐにあたって、「証明された技術」の伝統とシステムのバランスの視点が生かされ、リスクのミニマム化がさらに前進することが望まれる。

7. おわりに

鉄道におけるリスク管理の問題を、鉄道の歴史から新幹線の登場、ならびにその新幹線の長期無事故をもたらししている要因と考えられる事項について、私見も交えて概説した。

これらをとおして、多くのことが見えてくるが、それらは要約すれば次のようになろう。

- ・「安全に生まれついている」ことの重要さ
- つまりリスクミニマムの総システム設計の重み
- ・人間がシステムの機能における管理のトップにありハードとの役割分担が明快であったことの実証
- ・システムは辺縁のリスクがシステムの緻密さと有機的結合のゆえに危険を呼び込む(システムが小規模未熟なときは軽視できた)
- ・システムチェンジのトランジェントも要注意(リスクを生み出すT.P.Oへの着眼)
- ・経年はシステムとして未到の分野——要注意
- ・コントロール可能なシステムサイズの視点
- ・人間と機械(ハード全般)の協体制を作るにあたって、ハードの作動原理とは別にそれをどのような位置づけでシステム内で機能させるか、の「哲

学」の重要性

東海道山陽新幹線は、現在リニューアルにとりかかっている。新しい展開を期待したいが、同時にシステムチェンジのトランジェント時期のリスク管理の徹底を切に望むものである。伝えられるところの新型車両の初期故障も日ならずして鎮静化するであろうが、伝統の一次安全が保持されることを祈りたい。これは全鉄道事業者に対する願いでもある。

参考文献

- 1) 柳川邦雄、飯山雄次ほか「新幹線総合指令における情報系の解析と考察」『鉄道労働科学』No.27、鉄道労働科学研究所、1973年
- 2) 大島恵一編「日本のビッグプロジェクト」『現代研究会報告書』47-1、機械振興協会、1973年
- 3) 飯山雄次「デザインアセスメントへの対応とその展開」『マシンデザイン』Vol.12、No.6、工業調査会、1975年
- 4) 柳田邦男「フェイル・セーフ」『運転協会誌』Vol.18、No.200、日本鉄道運転協会、1976年
- 5) 飯山雄次・藤田義人監修『新幹線総合調査委員会マンマシン分科会資料』日本国有鉄道、1977年、ほか
- 6) 飯山雄次「コマンド・アンド・コントロールにおけるマンマシンシステム」『JREA（日本鉄道技術協会誌）』Vol.22、No.3、日本鉄道技術協会、1979年
- 7) 飯山雄次「新幹線システムと安全問題」『安全工学』Vol.18、No.6、安全工学協会、1979年
- 8) Yuji IYAMA : Systems - Ergonomic Approaches to Design and Operation of Today's Railroad, Human Factors (米国人間工学学会誌) Vol.22, No.1, 1980
- 9) 飯山雄次「新幹線運行におけるマンマシン系と安全性」『計測と制御』Vol.19、No.9、計測自動制御学会、1980年
- 10) 飯山雄次「工場の自動化と安全性について」日本機械学会第583回講習会教材、日本機械学会、1984年
- 11) 飯山雄次「近代技術と組合わされる人間と製品安全の課題」“Engineers” (日科技連機関誌) No.477、日本科学技術連盟、1988年
- 12) 飯山雄次「ヒューマン・ファクターに起因する事故例に学ぶ一列車のATSの教訓」『保安月報』No.300・301（合併号）、石油産業新聞社（通産省立地公害局保安課編著）1990年