

Graduate School of  
Business Administration

KOBE  
UNIVERSITY



ROKKO KOBE JAPAN

2009-37

ミニ新幹線における安全の形成

原 拓志

Discussion Paper Series

## ミニ新幹線における安全の形成

神戸大学大学院経営学研究科 原 拓志

### 1. イントロダクション

技術システムの安全形成を実現するには、技術システムを構成している種々の主体、制度的・構造的要因、物的存在とその相互作用を把握したうえで、対策を考えることが有効である。これらの技術システムを構成する諸要素とその相互作用について理解するには、先入見に基づいて単純化・一般化させたモデル分析などよりも、現実の複雑性、特殊性を残した事例研究が有効な方法である。というのも、現実の技術システムの崩壊は、要素間の結合関係や、偶発的なものも含めてプロセス的・状況的な要因によって、たとえばボルトの取り付け一つから起こることもあるし、起こらないこともあるからだ。こうした事例研究の対象としては、現実起きた事故事例のほかに、潜在的には危険の大きい技術システムを長期にわたって安全に運営している事例が考えられる。後者のタイプの事例から学ぶという方法は、かつて Weick and Sutcliffe(2001, 2007)が高信頼性組織 (HROs; High Reliability Organizations)から学ぶというときに使ったのと同様のアプローチだといえる。すなわち、潜在的に危険の大きい技術システムを長期にわたり安全に運営している事例には、安全確保のためのテクノロジーマネジメントの鍵となる何かがあり、それを事例研究から抽出しようというアイデアである。

本研究は、「山形新幹線」<sup>1</sup>および「秋田新幹線」という、総称して一般に「ミニ新幹線」と呼ばれる鉄道システムの安全形成の仕組みとプロセスを、事例の対象とする。この事例を取り上げた理由は、いわゆるHROといえる新幹線が、攪乱要因をできるだけ排除する形で安全形成を図っている(原 2008)のに対し、ミニ新幹線では、新幹線車両を在来線に乗り入れるものであるため、はるかに多くの攪乱要因に直面しており、両者において安全対策がいかに異なってくるのか、その比較を通して、鉄道システム、さらには技術システム一般の安全形成についての新たな知見を獲得することができるであろうという見込みにある。

### 2. 新幹線の安全形成について

新幹線が長期にわたって維持してきた安全は、どのように形成されてきたのか。東海道新幹線の例を見れば、在来線との独立路線、車両や列車の種類の限定(貨物列車などもない)、ATC (Automatic Train Control: 自動列車制御装置)の採用、道路等との完全な立

---

<sup>1</sup> 後述するように、「山形新幹線」、「秋田新幹線」は通称であって、厳密には新幹線ではない。したがって、本稿では、表記に「」を付した。他方、ミニ新幹線も通称であるが、新幹線とは異なる概念として識別可能であるので、あえて「」は付けないこととした。

体交差化（踏切が無いこと）、人の立ち入りを阻止するための高架化や防護柵の設置などの物理的対策、罰則を伴う「新幹線特例法（新幹線鉄道の列車運行の安全を妨げる行為の処罰に関する特例法）」による制度的な立ち入り阻止対策などによって、他の列車や車、人など攪乱要因の徹底した排除が図られている。

また、車両や架線、線路、路盤、トンネルなどにそれぞれ入念な安全対策がほどこされ、深夜に列車の運行を全て停めて保線作業に当てたり、ドクターイエローと呼ばれる検査用列車を使って定期的に軌道や架線や信号電流の状態を検査測定したり、同じく一定期間（ないし走行距離）毎の種々の車両検査を制度化したり、地震や架線事故などの非常時に緊急に送電を遮断し列車を停めるシステムが組み入れられたり、大雪や台風の場合には時に運休したり、と日常および非常時の運営においても、種々の攪乱要因がシステムに侵入しないように不断に防御する物理的・制度的仕組みが設けられている。

そのうえ、新幹線を運行させる組織においては、CTC（Centralized Traffic Control: 列車集中制御装置）が導入され、列車の運転、車内状況、電力、信号、施設保全に関する情報を全て一点に集中させて制御している。つまり、情報の共有化のための物理的な基盤が整えられている。また、新幹線運營業務は、開業当時の国鉄からJR各社として民営化された現在に至るまで在来線運營業務とは独立した部署によって担われている。職員の選抜や教育にも注意が払われ、作業については、標準化の徹底が図られ、指令用語の統一も図られた。とくに、鉄道の正確な運行を当然視する日本社会の価値観とそれにしがった鉄道職員や乗客を含めた人々の意識的、無意識的な行動パターンや、その結果として実際に運行が整然となされていることが、新幹線の安全面を高めている面も忘れてはならないであろう。つまり、主体が制度や物理的なシステムに誘導される形で無意識的に、あるいは安全確保への期待から意識的に、安全に貢献する行為をとっていることも新幹線の安全を形成している大きな要因である。

さらに、安全形成は一度に達成されたわけではなく、経験を踏んで次第に高められるような形でなされた。つまり、開業当初に頻発した様々な小事故や故障、トラブルの経験と対策の積み重ねによって、システムの安全性が高められていったのである。この点を見越して、列車ダイヤは当初は30分おきで次第に増やされていき、スピードも当初は最高時速200kmに抑えられ、次第に速められていったのである。（原 2008）

### 3. ミニ新幹線の設置の経緯

1964年10月、国鉄（当時）によって東海道新幹線が開業すると、その成功を踏まえて、全国への新幹線の拡大が計画されるようになる。当時、高度経済成長下にあつて、さらなるインフラ整備を目指して、他方で政治の道具として、公共工事のラッシュが起こっている時代であった。1970年に「全国新幹線鉄道整備法」（以下「整備法」）が制定され、1973年には、運輸省（現・国土交通省）告示「建設を開始すべき新幹線鉄道の路線を定める基

本計画」(以下「基本計画」)が決定され、国鉄ではなく国が直接、新幹線建設を計画統制することになった(新星出版社 2007, 70 ページ;ミニ新幹線執筆グループ 2003, 1 ページ)。「整備法」によって整備新幹線(北海道、東北、北陸、九州2ルートの5線)が定められ、「基本計画」によって奥羽や羽越、山陰、四国など10以上のルートが定められた。したがって、これらを差し置いて別の新幹線路線を建設することは極めて困難となったのである(佐藤 2007, 14-5 ページ)。そして、経済成長の減速や財政の悪化、国鉄の分割民営化(1987年)、沿線の反対運動などによって、「整備法」「基本計画」で定められたルート建設の進捗は遅々としており、2009年現在で実現されたのは、上越新幹線、東北新幹線の八戸まで、「北陸新幹線」の長野まで(北陸まで行かないため長野新幹線と呼ばれている)、九州新幹線の新八代と鹿児島中央との間だけであって、今後それらの一部が延伸される予定はあるものの、それ以外の多くが凍結ないし頓挫している<sup>2</sup>。

このような制度的状況にあるため、「整備法」の枠外にある地方都市に対する新幹線の誘致の実現可能性は極めて低い。その下で浮上してきた新たな考えが「新幹線から在来線への乗り入れ」方式(いわゆる新在直通方式)である(ミニ新幹線執筆グループ 2003, 5 ページ)。「整備法」では、「新幹線鉄道とは、その主たる区間を毎時 200km 以上の高速度で走行できる幹線鉄道をいう」と定義している。言い換えれば、在来線に乗り入れて 200km 未満の速度で走行する鉄道は「新幹線」ではなく「在来線」であって、「整備法」や「基本計画」の規制から外れることになる。こうして、制度の隙間において、既成の計画とは異なる形での「新幹線」ネットワークの拡張が図られることになったのである。それがミニ新幹線と呼ばれる「山形新幹線」と「秋田新幹線」である。これらのミニ新幹線は、本来の新幹線路線である東北新幹線の区間から分岐したのちは、同じ列車でありながらも、制度的には「在来線」となるのである(佐藤 2007, 14-5 ページ;ミニ新幹線執筆グループ 2003, 3 ページ)。

新幹線と在来線の直通運転の事業性や技術的な課題についての具体的検討は国鉄において 1983 年 10 月に開始された。そこで、軌道側で対応する「在来線活用方式」が検討された。狭軌(幅 1067mm)である在来線を、新幹線の標準軌(幅 1435mm)に改軌する方式にすれば、新たな新幹線路線の建設に比べて、工事の費用や時間が劇的に少なくなる。並行する在来線の市場を取り上げる影響はないうえに、むしろ乗り入れする在来線の活性化も期待できることになる(佐藤 2007, 22 ページ)。このように、「在来線活用方式」による新在直通は建設の財政的な面でもメリットがあった。そして、1986年には運輸省内で「新幹線と在来線との直通運転構想検討会」、分割民営化がすでに決まっていた国鉄内で「新幹線接続在来線速達性向上検討プロジェクトチーム」が組織された。それらにおいて、在来線の標準軌化による新幹線車両の乗り入れ、標準軌化した在来線の速度向上についての工事、目標到達時間、輸送計画、軌道、信号、車両の改良など、かなりの細部について検討

---

<sup>2</sup> 山陽新幹線については整備法以前に建設が進められており、1972年に岡山まで、1975年に博多までが開通、開業した。

がなされたという（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 5-6 ページ）。4月に国鉄の分割民営化がなされた1987年には「新幹線・在来線直通運転調査委員会」が組織された。運輸省、学識経験者、JR 東日本などで構成されるこの委員会において、新幹線直通運転のモデル線区として、福島～山形間が選定された。山形ルートが選ばれたのは、新在直通することで東京～山形間で3時間を切り、航空機にも十分に対抗できることが大きかったという（佐藤 2007, 22 ページ）。

この「山形新幹線」の計画は、「在来幹線鉄道活性化対策事業」として国の補助金が支払われることになった。1988年、「新幹線・在来線直通運転計画推進プロジェクトチーム」（JR 東日本）が結成され、工事計画の具体的な検討が開始された（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 6 ページ）。そして、その年の8月に福島～山形間の工事がスタートした。1992年7月に「山形新幹線」が開業した。列車は「つばさ」と名づけられ、開業当時は、1日14往復で1往復のみが単独運転、他は東北新幹線「やまびこ」に併結されて福島で切り離しがなされた。この結果、東京～山形間は最短2時間27分で結ばれるようになった。従来は、福島で在来線の特急に乗り継いで同区間は3時間9分が最短であったので42分の短縮が実現した。開業後の「山形新幹線」の業績好調で1995年には1両が増結されて7両編成となった。他方、開業当初は5往復が設定されていた羽田～山形間の航空機路線は、2002年には廃止へと追い込まれた（佐藤 2007, 23 ページ）。

「秋田新幹線」についても少し遅れて計画が進行した。国鉄分割民営化された時点で、JR 東日本エリア内では、東京駅と県庁所在地とが鉄道による所要時間で4時間を越える都市は、青森と秋田だけであった。そして、青森については整備新幹線青森ルートの建設が決定されていたが、秋田は新幹線建設計画から外れていた。このことは言い換えれば新在直通方式のミニ新幹線を開業しても国の既成の法律や計画の秩序を乱す要素がないことを意味していた。1987年、秋田県が「秋田盛岡間高速化推進検討委員会」を設け、その後、JR 東日本に対し秋田県から「秋田新幹線」計画の強い要請がなされた。それを受けて1990年にJR 東日本が「田沢湖線新在直通運転計画技術検討チーム」を発足させた。また、1991年に、鉄道事業の発展に助成金を提供する鉄道整備基金法が成立することで国からの財政的援助が得られる見込みが立ったこと、事前協議で秋田県からも応分の負担が見込めるようになったことで、建設資金確保の目処が立ち、他方で、大曲駅でのスイッチバック解消を諦めること<sup>3</sup>、田沢湖線を一年間運転休止し死線施工とすること、改軌工事の機械化などによって設備投資額を低減することによって、事業採算性が高められたことで、計画が実行に移されることになった（JR 東日本東北工事事務所 1997, 1 ページ）。

<sup>3</sup> 大曲駅はスイッチバックとなったため、進行方向が、そこで逆になる。安全のため、終端用の過走防護が図られている。ATS-P方式と終端防護という、確実に止まれという地上子をもう一つ設けているという（JR 東日本東北工事事務所 聞き取り調査 2008年5月9日 多田秀彰氏、山口哲氏、國分春男氏、小松実氏、橋浦晃氏が同席）。なお、大曲駅のスイッチバックには政治的経済的な背景も垣間見える。大曲には4万人ぐらいの人口があり、既存の駅もあり、輸送量を確保しなければならないこともあり、大曲を通過してしまう、あるいは新駅を作るという案は取られなかったということである。かといって、スイッチバックの無い形で大曲駅に入ろうとすると新線を建設しなければならなくなり、工費が多く掛かるほか、用地買収にも多くコストがかかるということで、その案も取られなかったということである。（JR 東日本東北工事事務所 聞き取り調査）

「秋田新幹線」は1997年3月22日に開業した。開業時は、5両編成で東京～秋田間に14往復、仙台～秋田間に1往復が設定された。列車は「こまち」と名づけられ、東京発着の列車は全て東北新幹線「やまびこ」と併結されたが、一部の列車については、分離が東北新幹線との分岐点にあたる盛岡ではなく仙台において行われた。これらの列車については、仙台で切り離れた後、「やまびこ」は各駅停車となるが「こまち」を盛岡までノンストップとすることで秋田までの速達性を確保した。東北新幹線内でのE3系「こまち」とE2系「やまびこ」の併結の場合は東京～盛岡間を最高速度毎時275kmで運転された<sup>4</sup>。こうして、東京～秋田間は最短で3時間49分で結ばれることになった。同区間の従前の所要時間は盛岡まで東北新幹線を使って田沢湖線まわりで最短4時間29分（JTB時刻表1995年2月号）であったので、40分の短縮となった。「秋田新幹線」も高い乗車率を誇り、1998年12月からは6両編成へと増結された。またE2系との連結を増やすことにより、仙台での分離は廃止された。2002年には全「こまち」列車がE2系「はやて」と併結された。（佐藤 2007, 34-5 ページ）

なお、新在直通列車は、東北新幹線の技術変化と相互作用している。併結がある限りは新在直通列車の高速性が東北新幹線の高速性をも制約することになるからである<sup>5</sup>。併結を止めるとなるとダイヤ編成や需給バランスにおいて困難が生じる。そこで、新在直通車両の開発がフル規格新幹線車両の開発と並行して行われており、新幹線区間で毎時360kmの最高速度を目指した車両開発が行われている（佐藤 2007, 40-2 ページ）

#### 4. ミニ新幹線の安全形成

##### 4. 1. 軌道についての対策

##### 4. 1. 1. 曲線改良

ミニ新幹線は、狭軌であった在来線を、新幹線の標準軌に改軌することによって、新幹線車両が在来線路線に乗り入れることを可能にしたものである。そして、既に述べたように、法律上はあくまでも在来線であり、最高速度は毎時200km未満に抑えなければならなかった。実際には、在来線に乗り入れるということで、物理的、経済的制約が存在しており、結果として、「山形新幹線」では、最高速度は、従来の毎時95kmから毎時130kmに上げられ、同じく「秋田新幹線」では、従前の毎時110kmが毎時130kmに上げられるにとどまった<sup>6</sup>。速度の向上のため、軌道に関して、通過駅におけるスイッチバックを廃止し<sup>7</sup>、

<sup>4</sup> 「山形新幹線」の400系「つばさ」は最高速度毎時240kmであった。

<sup>5</sup> したがって、当初400系を採用していた「山形新幹線」も2001年の新庄までの延伸時に、「秋田新幹線」と同じE3系が導入されはじめ、2009年には全て置き換えられることになった。

<sup>6</sup> 踏切のある在来線での非常制動による列車の制動距離は、法令で600m以下が標準とされており、それを可能とする最高速度として、毎時130kmが定められている（鉄道運転規則第54条及び鉄道に関する技術上の基準を定める省令第106条をもとに解釈基準として定められているとのことである。匿名の鉄道関係者からの情報による）。

軌道における曲線部分のカント<sup>8</sup>を大きくし、曲線の半径を拡大したり、緩和曲線<sup>9</sup>の長さを延伸したりする「曲線改良」により曲線の通過速度向上がなされた（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 18 ページ）。たとえば、「秋田新幹線」の場合、可能な限り毎時 5 km の増加が目指された（JR 東日本東北工事事務所 1997, 6-7 ページ）。しかし、曲線の半径拡大には物理的のみならず経済的な限界があり、その対策は一部にとどまったということである。

「秋田新幹線」は、法律的には在来線であり、普通鉄道構造規則の制約を受けるため曲線の通過速度は決まってくる。線形改良を行い、曲線半径を大きくしようとするとう地買収が必要となったり、工事費が高騰することになる。（JR 東日本東北工事事務所 質問状への回答より 2008 年 5 月 9 日）

線形改良をして、最大限緩和曲線値を伸ばして、何とかカントを向上させるなどで全カーブを検討して、基本は在来の施工基面を侵さないようにということで・・・対応しています。ただし、全てのカーブが高速対応できないもので、半分以上のカーブが在来のままのカーブで速度制限がかかっています。（JR 東日本東北工事事務所 聞き取り調査）

このような用地買収の経済的あるいは社会的な制約に伴う路線変更の制約は、新幹線路線と在来線路線との接合においても見られた。たとえば、「秋田新幹線」の建設において、盛岡駅において東北新幹線（高架）と乗り入れをする在来線である田沢湖線（地上）とを結びつけるために、当初は田沢湖線を移設し、その空きスペースに新幹線直通の高架橋を新設する計画であったが、用地買収の交渉が難航したため、田沢湖線を一定区間高架化し複線高架にすることで買収面積の最小化が図られた。（JR 東日本東北工事事務所 1997, 10 ページ、33-5 ページ）

以上のように、高速化のために路線の形状などが改良されたが、地形など物理的および用地買収や工事費など経済的な制約があり、改良は一部にとどまった。ミニ新幹線は、地方路線であり、その需要に見合った水準でコストを考えなければ採算が取れないという事情もあった。そもそも「新在直通方式」の魅力の一つには「安くて早い」という要素があった（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 10 ページ）。ミニ新幹線それぞれの事業費は、下記の表 1 のとおりである。これによれば、いわゆる工事費である地上設備費は km あたり 4 ～ 5 億円である<sup>10</sup>。新幹線の場合、その 10 から 20 倍の工事費とさらなる工事期間を見込ま

<sup>7</sup> 「山形新幹線」（在来線区間）において、奥羽山脈を越える区間の赤岩、板谷、峠、大沢の 4 駅は従来スイッチバック駅であったが、ローカル車両を勾配起動の容易な電車とすることにより、スイッチバックを廃止し、勾配上にホームを新設した（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 18 ページ）。

<sup>8</sup> 鉄道車両が曲線を通過するときに遠心力のため走行安全性や乗り心地に悪影響を及ぼす。その対策として外側のレールを内側のレールよりも高くする。この高低差をカントという（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 25 ページ）。

<sup>9</sup> 鉄道車両の走行を円滑にするために直線と円曲線、または 2 つの曲線の間には設けられる特殊な線形のこと。緩和曲線注では曲率とカントが連続的に変化する。この変化率が一定値以下になるように緩和曲線長が定められる（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 25 ページ）。

<sup>10</sup> ミニ新幹線と、ほぼ同時期に開業された整備新幹線の km あたりの地上工事費は、1997 年開業の北陸新幹線（高崎～長野間）で約 71 億円、2002 年開業の東北新幹線（盛岡～八戸間）で約 47 億円、2004 年開業の九州新幹線（新八代～

なければならない（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 11 ページ）。

表 1 ミニ新幹線の事業費状況

	「山形新幹線」 (福島・山形間)	「秋田新幹線」 (盛岡・秋田間)	「山形新幹線」 (山形・新庄間)
工期	4 年間 (1988.8-1992.6)	5 年間 (1992.3-1997.3)	2.5 年間 (1997.5-1999.11)
延長	87.1 k m	127.3 k m	61.5 k m
事業費	630 億円 地上 357 億円 車両 273 億円	917 億円 地上 607 億円 車両 310 億円	351 億円 地上 285 億円 車両 66 億円

(出所) ミニ新幹線執筆グループ 2003, 10 ページ。

ちなみに、事業方式としては、「山形新幹線」の場合、工事の実施および直通運転用車両を製造するため、山形県および J R 東日本の出資により第三セクター「山形ジェイアール直行特急保有株式会社」が設立され、国から「在来幹線鉄道活性化対策事業費補助金」が交付された。完成した施設と車両は J R 東日本がリースで使用し、リース料で資金を回収することとされた。「秋田新幹線」の場合は、鉄道整備基金が導入され、日本鉄道建設公団がその受け皿となって、同公団が建設主体となった。ただし、実際に設備を保有し列車を運行している J R 東日本が、工事の大部分を日本鉄道建設公団から受託して施工する形となった。秋田県、岩手県、J R 東日本が費用を分担し、工事完成後、日本鉄道建設公団から J R 東日本が施設の譲渡を受けた。秋田県および J R 東日本が出資した第三セクター「秋田新幹線車両保有株式会社」が車両を製造・保有し、J R 東日本にリースすることになった。これらに対して、新庄延伸での事業方式の特徴は、国の資金が入らない形で、地元と J R との共同事業とされたことである。事業費は「財団法人山形県観光開発公社」が山形県からの補助金と金融機関から融資を受け、J R 東日本へ全額無利子で貸し付けた。完成後、J R 東日本は開発公社へ 10 年据え置き後 10 年で資金を返済することとなった。また、これらの鉄道本体の事業の枠組み外で、J R 東日本や地元自治体によって、駅設備の改良、踏切の立体交差化、駐車場整備、河川改修等の事業が同時に進行した（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 11-12 ページ）。

#### 4. 1. 2. 三線軌について

狭軌の在来線と標準軌の新幹線とを直通化するための問題の一つとして、車両と線路と

---

鹿兒島中央間) で約 50 億円である (鉄道建設・運輸施設整備支援機構ホームページ <http://www.jr-tt.go.jp/organization/ir.htm> IR 資料 アナリスト説明会資料 平成 21 年度上期 22 ページ 2009 年 5 月 1 日)。



の標準の違いを克服する必要があった。在来線には特急である新幹線車両だけではなく、普通車両や貨物車両も走行させる必要があるからだ。これに対しての基本的な方法には、車両側で対応する方法と軌道側で対応する方法がある。

車両側で対応する方法については、異なる軌間に調整可能な台車を装備した「期間可変方式」やそれぞれの軌間に対応する台車と交換する「台車交換方式」がある（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 8 ページ）。しかし、前者は構造が複雑になり、後者は交換時間がかかるため効率的ではない。

軌道側で対応する方法として、標準軌だけにする「標準軌方式」、標準軌の内側に狭軌用にレールを1本敷設した「三線軌方式」、標準軌レールの間に狭軌用レールを2本敷設した「四線軌方式」、さらに「標準軌・狭軌単線並列方式」がある。「標準軌方式」は速度向上が可能であり、軌道中心線が狭軌の場合と一致するので在来の地上設備を有効に使用できる。しかし、狭軌車両が走行できないため、他の狭軌線区との直通運転は不可能となる。また、新たに標準軌用のローカル車両を準備しなければならない。「三線軌方式」は狭軌車両も標準軌車両も通ることができるが、軌道中心線が標準軌と狭軌とではズレるため、ホームやトンネル、橋梁といった構造物の改良が必要となることがある。また駅構内では三線軌分岐器が必要となり構造的に複雑になる。「四線軌方式」では軌道中心線が一致していることから、既存の地上設備を有効に利用できる。しかし、駅に設ける四線軌分岐器は非常に複雑なものとなり、豪雪地帯における融雪対策を考えると実用化に難がある。「標準軌・狭軌単線並列方式」は、狭軌車両も標準軌車両も走行できるが、それぞれが単線運転方式となるため、駅での行き違い設備等が必要になる。輸送力やダイヤ構成上の問題についても検討の必要性が生じる（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 8-9 ページ）。

これらの比較検討の結果、「山形新幹線」、「秋田新幹線」での乗り入れ方法としては、「標準軌方式」を基本に計画し、必要に応じて「三線軌方式」と「標準軌・狭軌単線並列方式」が一部取り入れられた（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 9 ページ）。たとえば、「秋田新幹線」の場合、盛岡～大曲間は全線、標準軌（単線）に改められた。大曲～秋田間は全線を複線化（狭軌と標準軌との単線並列を含む）し、そのうち、神宮寺～峰吉川間については、片側を三線軌として、もう一方を標準軌とすることで、標準軌列車同士の走行行き違いを可能にした。この区間を三線軌区間に選定したのは、ダイヤ構成上の理由に加え、トンネルが存在する区間では軌道中心線がズれるのでトンネル改築が必要となり工事費が増えることが挙げられている（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 20-1 ページ）。

#### 4. 1. 3. 軌道構造について

軌道構造においても改良がなされた。レールを枕木に固定するのに、古くは犬釘が使われたが、近年は高速走行時の衝撃にも耐えるばね作用を持つ弾性締結装置が使われている。S字状のばねで構成され、ボルトを不要として「パンドロール」形締結装置が採用された。

また、レールは列車の高速化と線路保守の省力化のために、溶接して長さ数百メートルにおよぶロングレールが採用された。温度差による伸縮については、重く寿命の長いPC（プリストレスド・コンクリート）枕木、締結装置、バラストで伸縮を抑えているほか、両端部を特殊な伸縮継目にして伸びを吸収している。信号用には、数百メートル毎にレールに電気継目を設ける必要があり、レールとレールの間に絶縁物を挿入して接着した「絶縁継目」が設けられた。また、分岐器部分等、PC枕木を使用できない箇所は、「合成枕木」または「樹脂注入枕木」が採用された（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 75-7 ページ）。

#### 4. 2. ホームやトンネル等の構造物についての対策

新幹線車両は、従来の在来線車両より車体が大きいので、そのまま在来線に乗り入れると、ホームやトンネル、橋梁の限界を支障する（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 7 ページ）。この対応策として、在来線区間の構造物を新幹線と同じ規格にするには膨大な工事費が必要となるので、できる限り既設の在来線の設備を利用し、車両側で両方の規格を満たす方策がとられた。（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 99 ページ）そのため、従来の新幹線車両の幅が3380mmであるのに対して、直通用車両の幅は2950mmと、ほぼ在来線車両並みの大きさとされた（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 16-7, 20 ページ）。しかし、ドアの高さなど車両側では対応が困難なものもあり、高速化に対応するために構造物の変更も一部で必要とされた。そこで、直通車両にあわせて駅のホームが高くされ、橋梁のうち、標準軌に対応できないものや古い構造となっている部分の改築がなされるなど、高速列車の走行に耐えられるよう変更が加えられた（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 19 ページ）。

#### 4. 3. 踏切についての対策

##### （1）踏切数の削減

ミニ新幹線が走る在来線の区間においては、新幹線と異なり、道路との交差において踏切が存在している。ミニ新幹線の開通にあたっての安全対策として、表2に示すように82箇所の立体交差化が図られ、97箇所の平面交差踏切が廃止された。しかし、一部の踏切は残され、門型踏切の導入などによって視認性を高めたり大型支障物検知装置を設置したりするなどの安全対策が施された。ここにも経済的制約が関わっている。

立体交差化の事業主体は自治体であり、個々の踏切を立体交差化するかしらないか（出来るか出来ないか）は自治体の判断に委ねられていたが、経済性の面が一番大きな判断材料であったと思われる。（JR東日本東北工事事務所 質問状回答）

立体交差化の事業主体は自治体で・・・工事費はルール上、自治体の負担になっており、ミニ新幹線建設の

事業費とは別のお金がここには入っています。・・・ここだけ〔立体〕交差しても〔他の〕道はどうするかとか、いろいろありまして、高速道路のランプのようにぐるぐる上に上がってから回すかなどという、また膨大な金がかかって、絵的にはできるのですが、現実的ではないというのが、ほとんどでしたね。(JR東日本東北工事事務所 聞き取り調査)

表2 ミニ新幹線における踏切削減状況

	当初踏切数	廃止踏切数	減少率	立体交差化	立体交差内訳
「山形新幹線」	91	11	12%	6	跨道橋 4 跨線橋 2
「秋田新幹線」	99	41	41%	33	跨道橋 23 跨線橋 6 高架化 4
「山形新幹線」 (新庄延伸)	79	45	57%	43	跨道橋 33 跨線橋 10
合計	269	97	36%	82	

(出所) ミニ新幹線執筆グループ 2003, 13 ページ。

## (2) 踏切構造の改善

踏切構造については、従来は、ほとんどが廃プラおよび木を使用した構造であった。「秋田新幹線」においては、交通量の多い箇所、ゴム化踏切とコンクリート舗装の中に融雪装置を設備した。また、従来通りの構造のものにも一部アンスリップ鋼板を敷設した。そのほか安全対策として、淀川踏切(奥羽線)と大館中踏切(田沢湖線)などに門型柱を設備して警報機等の視認性工場を図り、ほとんどの踏切には大型支障物検知装置が設置された(JR東日本東北工事事務所 1997, 331 ページ)。

### 4. 4. 信号設備についての対策

#### 4. 4. 1. ATS-Pの導入と連動装置の電子化

ミニ新幹線の導入による在来線の高速化のために下記の設備の変更がなされた。

- ① 新幹線と在来線との境界となる福島駅、盛岡駅においては、新幹線と在来線の両方の信号が設けられ、さらに分割・併合のための信号機も設けられた。また、新在間での電圧の変化に対応するため絶縁された異相用デッドセクションが設けられている。
- ② 安全性向上のため、自動列車停止装置(ATS: automatic train stop)について、従来の、停止信号機の手前から一定の距離にある地点で運転士に警告を発し運転士の確認が無ければ列車を自動停止させるATS-Sに代えて、速度照査機能を持ち運転士

の操作が遅れた場合に運転士に頼らず自動的に列車を停止させる機能をもったATS-Pが設置された。

- ③ 踏切システムの制御をリレー回路から電子回路に置き換えた（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 99-101 ページ）連動装置の電子化についてのメリットと留意点については、下記のような認識がなされていた。

電子連動装置を導入するメリットは、

- (1) 継電連動装置等で見られる複雑な結線の作成を省くことが可能となり、設計の短縮、設計のミス防止が図れる。
- (2) 製作段階で論理試験、現場段階で現地接続試験と効率的な試験が行える。
- (3) 二重系構成であり、信頼性が高い。保守もオンライン保守が可能である<sup>11</sup>。
- (4) 駅構内における複数回の線路変更等に対応するため、同一の電子連動装置に工事ステップ毎の連動データを作成して、データを切り換えることで簡単な連動変更が可能である<sup>12</sup>。

なお、留意点としては、

- (5) ME機器であり、設備環境に注意が必要である。（空調設備、防塵対策、絶縁強調等）
- (6) また、雷害対策、ノイズ対策等に注意が必要である。

（JR東日本東北工事事務所 質問状回答）

さらに、新在直通運転区間においては、ATS-Pの基本機能である停止信号機の冒進防止以外に、次のような機能も利用して安全向上を図られている。

- ① 「山形新幹線」の場合であれば、福島駅で待機している東北新幹線列車の後部に、在来線から進入する「つばさ」が併合する際、衝突防止のため、ATS-Pによる速度-距離パターンを利用して、列車の間隔を制御している。また、ドアステップの開閉制御にも、ATS-Pの位置情報を使用し、誤開閉による新幹線区間での乗降客の転落や在来線区間での車両とホームの接触を防いでいる。
- ② 在来線においては分岐部分あるいは曲線部分の速度制限を、運転士の注意力に依存していたが、ミニ新幹線では、全区間においてATS-Pの速度制御機能によるバックアップを行うようにしている。
- ③ 「山形新幹線」における急勾配（下り坂）の駅停車についても、ATS-Pによるバックアップを行うシステムを設けた。このシステムは、ATS-Pの列車番号受信機

<sup>11</sup> オンライン保守とは、システムを切り替えて、オフラインにした方を保守することである。

<sup>12</sup> 中に変更前、変更後と二つ入れておいて、外側にスイッチを設けて変更前の面を使う、スイッチを切り替えると変更後の面を使うという具合に切替をできるようなつくりをしました。だから現行面を向いていると現行の連動で動くし、変更面を向けると変更後の連動で動くというような形で作りました。こういうことが簡単にできるということもあるということです。（JR東日本東北工事事務所 聞き取り調査）

能を利用して、受信した列車番号により、駅に停車するか否かを判断し、停車の場合にはホームに停止する速度－距離パターンを作成し、運転士の操作をバックアップしている（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 106-8 ページ）。

他方、新幹線では、設備されている自動列車制御装置（A T C : automatic train control）は、ミニ新幹線の在来線区間においては採用されていない。この点については、やはり経済的な面からの判断がなされている。

「秋田新幹線」は、在来線の位置づけであり、運転保安設備は同等の設備としている。（A T CではなくA T S－Pを採用しているのは、安全性向上と線区のグレード（運転速度、運転本数とも高密度・高速運転区間ではない）に合わせている。（J R東日本東北工事事務所 質問状回答）

A T S－P方式（地上信号方式）のメリットは、A T C方式（車内信号方式）に比較して、大幅な信号システムの変更とならず工事費が抑えられ、工事工期の縮小が可能であったことである。また、A T S－P方式は、A T C方式ほどきめ細やかな列車制御ができないが、連続的な運転速度照査機能となっており、運転手の注意力に依存しないシステムである。「秋田新幹線」の運転保安設備で最も大幅な変更はA T S－P装置付加なので、乗務員の運転取り扱いに変更が少ない。（J R東日本東北工事事務所 質問状回答）

#### 4. 4. 2. 標準軌列車と狭軌列車に対する信号保安設備

ミニ新幹線の在来線区間において、標準軌・狭軌列車の続行運転が行われている場合、三線軌から標準軌あるいは狭軌に分岐する箇所において、進路と列車種別が不一致となると脱線の可能性がある。そこで、安全のために、列車種別の順序管理が重要となる。「山形新幹線」の蔵王～山形間では、開業当初、貨物輸送のため、三線軌化によって、狭軌列車の走行を可能としたが、貨物列車の本数が少ないことから、この区間には標準軌列車か狭軌列車のいずれかしか在線できないという制限を設けた。これにより区間における列車の種類順序管理は不要とされた（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 109 ページ）。なお、2000年に貨物輸送が廃止されたため、三線軌も撤去された（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 121 ページ）。他方、「秋田新幹線」の神宮寺～峰吉川間は、現在も、狭軌列車の走行を可能にするため三線軌があり、しかも、列車本数が多いため、「山形新幹線」のような列車運用の制限を設けることが出来ない。そこで、駅構内に三線式軌道回路装置を設け、駅を出発した列車の種類順序管理を行う「列車選別機能」を付加して、順序管理の結果による信号機制御がなされている（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 109 ページ；J R東日本東北工事事務所 1997, 118 ページ）。

三線軌区間は、三線軌から標準軌または狭軌に分岐する箇所があり、列車の種類（標準軌列車と狭軌列車の

区分)と分岐する方向を比較して一致しない場合、信号機に停止信号を現示している。通常の運転では人間は絡んでいないが、人間が間違えて介入(進路を手動で設定)した場合、列車に対しては停止信号現示のままとなり、安全が確保される。

三線軌区間では、狭軌列車は、本線と待避線の2線に停車できるが、標準軌列車は本線しか走行できない変則的な列車運行区間となっている。このため、この区間に「秋田新幹線」から標準軌列車が進入する際、奥羽本線PRC(Programmed Route Control: コンピュータによる列車運行制御)で通過可能性チェックを行い、「秋田新幹線」PRCへ進入許可を与えている。一連の動作は、PRC相互に自動で行っている。(JR東日本東北工事事務所 質問状回答)

#### 4. 5. 降雪・降水についての対策

「山形新幹線」では、特に豪雪地帯を運転するため、福島・山形間の分岐器融雪装置の整備、雪崩防止柵の10箇所増設(既設23箇所)、山形電車区の融雪線整備などの対策が実施された。また、東北新幹線内で高速運転中に車体についている雪が線路上に落下し、バラスト(レール下の小石)が跳ね上がってぶつかる可能性もあるため、福島駅での連結中に人が車体に付着した雪を落としたり、山形駅に到着したのち雪を落としたりする対策が実施された。開業後の2001年の豪雪においては、沿線の樹木に雪が積もって枝が垂れて送電線に接触したり、木や枝が折れて線路を塞ぐなどしたりしたため、6日間で区間運休も含め122本が運休となった。その後、支障の危険性がある沿線の木を切り倒したり枝払いしたり対策がなされた。また除雪されているのは道路と線路で、それらの両脇などは2m以上の雪の壁のため、乗用車が踏切から道路と間違えて線路に侵入して走行し「つばさ」と衝突するという事故も発生した(ミニ新幹線執筆グループ 2003, 33-4, 100-1 ページ)。

また、「山形新幹線」が運転中止する原因である雨、雪、強風、雷および地震などの中で、雨による運休が半数近くを占めている。それは東北新幹線のように高架ではなく地上を走行していることが関わっている。福島・新庄間の降雨防災強化工事は2002年5月に完了した。盛土のり面強化対策、切取のり面強化対策、土砂流入防止対策などがその具体的内容である(ミニ新幹線執筆グループ 2003, 35-6 ページ)。

「秋田新幹線」においても各種融雪装置の設置など雪害対策が図られている(JR東日本東北工事事務所 1997, 108-14 ページ, 171 ページ, 384-9 ページ, 453-4 ページ)

#### 4. 6. 車両に関する対策

新幹線車両は大量高速輸送に適した設計がなされ、質量も大きく、車体の断面も大きい。鉄道においては、車両限界という寸法を設定し、車両と地上設備との間に一定の間隔を確保することで、安全を実現している。既に述べたように、ミニ新幹線における新在直通車両の特異な点は、台車周りの諸サイズは標準軌に合わされているが、車体そのものは在来

線車両の規格である（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 131 ページ）。東北新幹線においては、最高時速 275 km での走行が要求される。他方、東北新幹線の最小曲線半径は、原則として 4000m であるのに対して、「山形新幹線」では 300m 程度の曲線が多くある。したがって、直通車両には小さな曲線を通過できる性能と、高速で安定して走行できる性能とを兼ね備える必要がある（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 130-1 ページ）。高速走行安定性と曲線通過性能は、鉄道車両にとって相反する性能である。車両の走行安定性は前後の車軸間隔の大きい台車の方が良くなるが、曲線通過性能は犠牲となる。直通車両では、シミュレーションや要素技術開発によって台車設計の最適化が図られた（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 132-4 ページ）。

また、新幹線での最大勾配は原則として千分の 15 とされていたが<sup>13</sup>、「山形新幹線」の勾配は最大で千分の 38 もあり、さらに千分の 25 以上の勾配が 17 km も続く区間がある。勾配区間の走行には、登り坂に要する車両のパワーと、下り坂のためのブレーキ性能が必要である。加えて制限速度を維持するための運転の操作性が要求される。直通車両は、そもそも毎時 200 km 以上の速度を出せるパワーがあるから、登り坂には問題はなかった。問題は下り坂のためのブレーキであり、「抑速ブレーキ」が装備された。これには、機器の保護と操作性の向上とが勘案されている。さらに、運転扱いの厳密なマニュアルが定められた（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 131-2 ページ）。

さらに、在来線区間では信号設備の制約や踏切があるため、いかなる時でも列車は 600 m 以内で停止するように定められている（註 6 参照）。このため、新幹線区間にあるときよりブレーキ力をより大きくしなければならない。そこで、新在間でブレーキ制御装置の切替が行われる。この切替は、保安装置の切替と連動されていて、分割併合を行う駅で停車の際に運転士が行っている。直通車両に備えられているブレーキ装置には下記のようなものがある（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 141-5 ページ; 新星出版社 2007, 156-7 ページ）。

- ① 常用ブレーキ： 運転士が手動で（新幹線区間では A T C により自動で）作用する常用のブレーキで、電気指令空気ブレーキシステムに基づいたディスクブレーキが採用されている。
- ② 非常ブレーキ： 常用ブレーキの最大制動力の 1.5 倍のブレーキ力があり、非常時に自動で働くが、運転士の手動によっても作動できる。切替によって在来線区間においては、新幹線区間よりブレーキ力を 2 割ほど強くすることができる。
- ③ 緊急ブレーキ： 新幹線特有のシステムであり編成した車両が分離した時に自動的に作用するものである。機械的な仕組みで作用する空気力のブレーキシステムである。
- ④ 抑速ブレーキ： 下り勾配で利用されるもので、機械ブレーキを極力使わないようにするための発電ブレーキ<sup>14</sup>や回生ブレーキ<sup>15</sup>である。最近の車両では設定した速度に合う

<sup>13</sup> 東海道新幹線開業時における標準最大勾配が千分の 15 以下であり、延長 1km 以内に限り、千分の 20 が最大勾配と定められていた。現在は車両性能が向上したこともあり、地上工事費を低減させるため、整備新幹線では最大勾配に千分の 35 が採用されている（新幹線鉄道構造規則第 15 条第 3 項）。

<sup>14</sup> 発電ブレーキは、モーターを発電機として使用し、そこで発電した電力を、抵抗器を用いて熱エネルギーに変換する

ように自動的にブレーキ力が調整される。

- ⑤ 直通予備ブレーキ： 在来線固有のブレーキで保安ブレーキとも呼ばれる。踏切事故などで空気配管が破損した場合の指令系のバックアップブレーキである。空気タンクと配管を別系統で持ち、スイッチを扱うことで作用する。
- ⑥ 耐雪ブレーキ： ブレーキディスクとディスクの間に雪が咬み込むとブレーキが利かなくなる恐れがある。そのため冬季に弱い空気ブレーキを作用させ、発生する熱で雪を溶かしておこうというものである。高速で作用させるとブレーキ装置の磨耗が大きくなるため時速 110 km 以下で動作するようにしている。直通車両では在来線で動作するようになっている。
- ⑦ 補助ブレーキ： 新幹線特有のバックアップブレーキである。直通予備ブレーキと似た役割であり、指令線やブレーキ制御装置に不具合が発生した場合、専用の指令線と電源をブレーキ制御装置にある電空変換装置に与えて空気ブレーキ力を発生させる。速度に応じた制御が出来ないため、使用する場合には速度制限がかかる。

そのほか、豪雪地帯を走行するミニ新幹線においては、車両にも耐雪のための構造が付けられている。たとえば、スノウブラウという排雪装置が先頭車の下部についている。軌道上に積もった雪をはね飛ばす役目をしていて、この排雪能力と車体や台車の強度により積雪時の速度制限が決定されている。また、床下の機器や台車周りは特に積雪に晒されるため、台車の軸受け部分には水が入らないようにシールが取り付けられている。さらに、床下の機器は厳密な防水構造となっている(ミニ新幹線執筆グループ 2003, 145-6 ページ)。

通信システムにおいても、雪の抱え込みなどの運転支障時に、運転士と車掌とが共に回線を使うことを可能にするため、車掌室に移動体通信端末の導入を行うとともに、ゾーンエリアの拡大に伴う回線使用の競合チャンスの増大に対応するために二重系システムが導入されている(JR東日本東北工事事務所 1997, 129-30 ページ)。

車両関係の安全対策について、もう一つ挙げておきたいことに、「秋田新幹線」から採用されたE3系車両における、可変電圧可変周波数(VVVF)インバータ制御から発生するノイズの問題がある。VVVFを用いた主回路制御は、モーターの制御がしやすい、モーターのメンテナンスが軽減されるなどのメリットがある。その反面、ノイズが大きいというデメリットがある。このノイズを一番嫌うのが、ATSやATCといった弱電部品を持った保安装置である。そこで、いままでの新幹線電車では、先頭車はM車(動力車)ではなくT車(付随車)で編成されていた。これは、VVVFのノイズを先頭部にあるATCやATSの車上子などに影響を及ぼさないようにするためである。しかしE3系の場合、当初5両編成ということで編成が短いために、両先頭をT車にすると構成上問題があるためM車にせざるを得なかった。実際に、先頭車の一番前についている車軸のモーターから出るノ

---

ものである。「山形新幹線」400系車両で用いられた。

<sup>15</sup> 回生ブレーキは、モーターを発電機として使用し、そこで発電した電力を架線へ戻すものである。「秋田新幹線」や「山形新幹線」の新型車両で採用されたE3系車両で用いられている。



イズがATSの車上子に悪影響を及ぼして信号トラブルが出たため、そのノイズを低減する対策が図られた（佐藤 2007, 31-2 ページ；JR東日本東北工事事務所 1997, 431-2 ページ）。

#### 4. 7. 運行管理における対策

「山形新幹線」「秋田新幹線」は、列車ダイヤの作成から列車運行の制御・監視、実績の保存および統計処理までトータルに行う運行管理システムを導入している。また、主要機器は、二重系構成として機器故障に対するシステムの信頼性、保守性の向上を図っている（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 119 ページ）。

##### （1）新幹線区間の運行管理

東北（「山形新幹線」「秋田新幹線」の新幹線区間運行を含む）、上越、長野各新幹線の新幹線区間の運行管理は、JR東日本の新幹線運行本部の総合指令室<sup>16</sup>でなされている。1995年10月までは大型の運行表示盤を使用して運行管理を行っていたが、11月からは、新システム「COSMOS」（Computerized Safety Maintenance and Operation System of Shinkansen）（新星出版社 2007, 196 ページ）に移行した。COSMOSは、コンピュータディスプレイの運行表示画面によって操作するシステムである（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 56 ページ）。これは、輸送計画システム、運行管理システム、車両管理システム、保守作業管理システム、設備管理システムから構成されている（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 122-3 ページ）。このシステムを用いて、指令室では、ワンフロアーに、旅客輸送全般の管理をする輸送指令、車両管理などをする運用指令、保線などの作業管理をする施設指令、電力管理をする電力指令、信号や通信・コンピュータのシステムを管理する信通システム指令の5つのセクションが連携をとりながら、監視コントロールをしている（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 56-8 ページ）。

##### （2）在来線区間の運行管理

「山形新幹線」では、在来線区間での運行管理について、単線自動閉塞式をとっており、JR東日本仙台支社の総合指令所において集中制御している。ここでは、やはりコンピュータディスプレイ上で操作するPRCが採用されている。「秋田新幹線」でも、同社秋田支社において、単線自動閉塞式で、同様の集中制御がなされている（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 58-9, 120-1 ページ）。

ところで、新幹線区間における列車運行は、極めて安定しているのに対し、単線の在来線区間においては、ローカル列車との混在運行、踏切支障、そして車両の出入り口の少なさ（1両に1箇所）による乗降時間など、遅れにつながる要因を数多く抱えている（ミニ新

<sup>16</sup> その所在地は、テロ防止対策のため、公表されていない。

幹線執筆グループ 2003, 62 ページ)。ミニ新幹線の上り在来線区間で遅延が発生すると、福島駅、盛岡駅から連結となる上り新幹線の運行にも、さらにホーム数などの制約によって、下り新幹線の運行にまで影響が出ることになる（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 62 ページ）。そこで、たとえば、福島駅においては、連結する列車の相互の待ち合わせ標準時間を10分とし、それ以上の場合は原則として相互の新幹線が単独運転すると定めている。この場合、運転士が足りなくなるため、仙台新幹線運転所福島支所には、予備の運転士が待機させられている（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 63 ページ）。また、福島～山形間において長時間不通となった場合は、上下の新幹線は福島駅で分割を行わず連結したまま仙台駅折返しをし、乗客を仙山線経由で山形方面に輸送することになっている（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 63 ページ）。

### (3) 新在間のインターフェイスにおける運行管理

ミニ新幹線開通以前においては、新幹線と当該在来線とは、それぞれ独自に運行管理システムを構築していた。新在直通運転に際し、これらを結合する必要が生じた。新幹線区間では、駅の分岐器や列車の進路制御は、列車番号により自動的に行っている。このため新幹線区間を走行する全ての列車は、予め、列車番号をコンピュータに登録する必要がある。在来線から新幹線に進入する場合、直通車両のATS-Pの列車番号送受信機能を活用して、新幹線区間に入る前に列車番号を車上から地上に送信することになった。すなわち、新幹線に進入するための信号機を制御する開始点付近に、ATS-Pの受送信応答をするトランスポンダーを設置し、ここを進入列車が通過するとき列車番号を受信する。受信された列車番号は、列車番号処理装置で、対応する新幹線列車番号に変換され、新幹線運行管理システム（COSMOS）の進路制御装置に渡される。新幹線PRCは列車番号と運行ダイヤの列車番号とを照合し、一致したら在来線列車の進入に関する進路制御を実行する（新幹線への進入が可能となる）。在来線PRCは、新幹線側の信号現示を確認し、新幹線進入の進路制御を実行する（新幹線への進入が可能となる）。逆に、新幹線から在来線に進出する列車の進路制御は、新幹線PRCで在来線に進出する列車か否かを判断して、そうであれば駅構内に進入したら、列車番号を列車番号処理装置に送り、在来線列車番号に変換し、在来線PRCに送信する。在来線PRCでは、列車番号と運行ダイヤの列車番号とを照合し、一致したら進路制御を実行する（在来線への進入が可能となる）。新幹線PRCは、在来線の信号現示を確認し、出発進路を制御する（在来線への進入が可能となる）。このように、新在間双方でチェックを行うことで相互の進入を安全なものにしている（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 117-9 ページ）。

新幹線のシステムと在来線のシステムが混在する箇所というのが（「秋田新幹線」の場合、）盛岡駅になります。新幹線盛岡駅が新幹線と在来線の境界となりますので、新幹線の構造規則と在来の構造規則という形で混在します。新幹線がATC装置と車内信号、在来線はATS-Pと地上信号と。両方の運転保安設備を設

けていて混在しているという形になります。使う列車によって、ATS、在来の方式ではいつてきたり、あとは新幹線で行くときは新幹線の方式という形で切り替えています。違うのは、電車線の電圧が新幹線が25000V、在来が20000Vなので、境界にデッドセクションを設けているという形になっています。(JR東日本東北工事事務所 聞き取り調査)

さらに切換は装置で安全を確保しながらも意識付けのため運転士が手動で行っている。

人間の依存度という、基本的には地上設備に関して運動装置なりATS-P、ATC等があるので、安全を確保して、人間に依存することはあまりありません。あと、新幹線の盛岡駅で直通列車のATCとATS-Pのモードの切替をやりますが、そこは手動でやっています。

切り替えなければ、どっちも新幹線側に入れられないのです。新幹線側であれば在来に切り替えないことには行けないわけです。新幹線ならATCしか受信していませんので、そうすると地上信号機が応答しても車両自体が動かない。ですから、そこには明確な人間の判断を介在させたというイメージになります。・・・そこは人間の判断、装置の双方で一致して初めて切り替えて進めるという形です。

(原) たとえば遠隔で切り替えるという方法も考えられないのですか？

やはりATCというのは車上信号で、車内の信号しか確認していないわけですね。地上信号というのは、あくまでも信号機。ですから運転の方式自体が全く違うので、そこはやはり意識付けとして「手動で切り替えをしています」。・・・運転の取り扱い自体が変わるわけですね。新幹線の運転取り扱いで、ATCを見て乗務員は運転しなさいというのと、在来に入るときは前方の信号機を確認して、前方の開通を確認してと、そういう形で取り扱い自体が変わってきます。(JR東日本東北工事事務所 聞き取り調査)

#### (4) 他の在来線とのインターフェイスにおける運行管理

ミニ新幹線の在来線区間の運行管理においては、在来線を走るローカル列車の運行管理との連携も安全上重要である。たとえば、「秋田新幹線」と奥羽本線の運行管理システムは、線区の一元管理を行い、それぞれのシステムの異常が相互に影響を与えないようにするため、「秋田新幹線」PRCは盛岡～秋田間を、奥羽本線PRCは、三線軌区間も含めて院内～秋田間の在来線を管理している(図1)。三線軌区間では、ローカル列車は神宮寺駅および刈和野駅の本線と退避線の2線に停車できるが、直通列車は本線しか走行できない。このため、「秋田新幹線」PRCと奥羽本線PRCがインターフェイスを取りながら列車の運行管理を行っている。下り直通列車が三線軌区間に進入する際、奥羽本線PRCは、三線軌区間を通過可能かのチェックを行い、直通列車の走行に支障する上り列車が走行している場合、指令員に退避警報を行うなどの処理を自動的に行い、「秋田新幹線」PRCに進入許可を与えるしくみとしている(ミニ新幹線執筆グループ 2003, 121 ページ)。

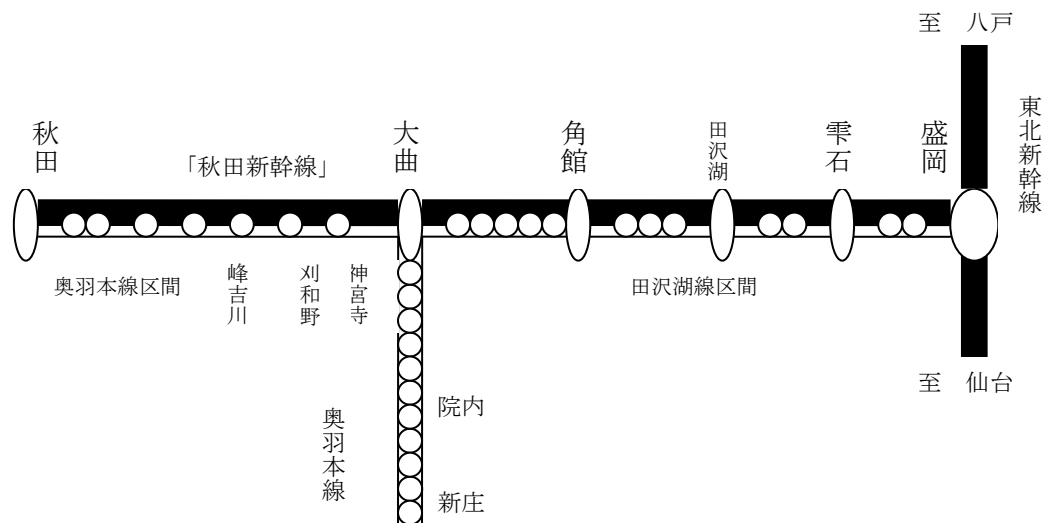


図1 「秋田新幹線」在来線区の略図

「秋田新幹線」PRCでは「山形新幹線」PRCと比較して、マンマシンの操作性が向上し、システムの信頼性も一段と向上している。特に運転整理をするため高性能なコンピュータを採用しており、ダイヤの「スジ」（個々の列車の運行スケジュール）を直接操作することができ、迅速なダイヤ変更が行える。また機器構成は、手動系と自動系の機能を分離し、機器の分散化を図り、機器故障に対するシステムの信頼性が向上している（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 121-2ページ; JR東日本東北工事事務所 1997, 572-580ページ）。

運行管理システムは、「秋田新幹線」、奥羽本線と独立しているが、通常時は自動で進路制御を行っている。異常時の運転整理時には、各指令員間で列車ダイヤの整合性を取っている。なお両PRCは秋田支社内の同じ部屋に設置されている。（JR東日本東北工事事務所 質問状回答）

「山形新幹線」PRCと奥羽本線PRCも同様にJR東日本仙台支社内の同じ部屋に設置されている。

#### (5) 分割・併合時における運行管理

ミニ新幹線において特殊な運行管理として、東北新幹線との分割および併合時の運行管理がある。特に併合においては、閉塞という列車運行管理の原則を破らなければ実現しない。つまり、列車運行の大前提は1つの区間に2個列車が入らないことであるが、この基本的な保安システムを崩し、それでも安全性を確保できなければ併結動作は行えないのである。そのため、保安装置として設置しているATS-P地上装置を活用し、併結相手列車との位置を検知し、速度と距離の防護パターンを持つことで衝突を回避する新しい方式

が開発された。併結の動作は 2 段階に分かれている。駅に進入してきた列車は A T S - P から位置情報を受け、防護パターン（停止パターン）に守られて 30m 程度手前に停止する。そして分割併合装置のカバーを開くなどの準備動作が自動で行われる。車上のモニターは、併合システム画面に切り換わる。そこには相手列車に向かうまでの距離と速度のパターン（併合パターン）が表示され、その指示にもとづき運転士は操作を行う。万一速度が超過した場合にはブレーキが自動的にかかる。いよいよ接近すると相手列車との距離が運転台に表示され、これに従って極低速での併結が可能となる。なお、併合も分割も A T S 運転中に行われるため、A T C 信号の影響を受けないよう切替がなされる（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 138 ページ；J R 東日本東北工事事務所 1997 121-2 ページ）。

併合前は一回必ず「止まれ」になっているのです。それから「ゆっくり入ってきてください」になっているので、併合する前にもう一回「止まれ」なのです。あとは「ぶつける」という形の運転の取り扱いになっているのです。

（原）人間が 3 回とも止めているわけですか？

そうです。かなり引こうとして、速度をかなり落としてくっつけるところまで A T S - P でいけるのですが、そこは運転手が 3 回止まって、誘導でドンとぶつけるという形になっています。

そこは運転の取り扱いの規則でそのようにしているということです。だから、保安装置としてみれば、単純に A T S - P で 5 k m のスピード以上は出ないように電文で出して機械的には抑えていると。実際は取り扱いを間違つて 5 k m で行ったらというと、5 k m で普通に併結するのと同じスピードです。ハード側としてはそういう押さえをしています。（J R 東日本東北工事事務所 聞き取り調査）

#### 4. 8. 線路や架線、信号設備等の保守について

新在直通の列車編成の重量は 7 両編成の場合、360 トンにも及ぶ。こうした重量物が高速運転することで、軌道に変位が発生してくる。これが累積すると安全に影響が発生する。こうした変位の発生を少なくするため、ロングレール化、締結装置のバンドロール化、枕木・分岐器・伸縮継目・踏切等の材料や構造の工夫などが図られた。しかし、これらの対策によっても変位を完全に防ぐことはできないため、定期的に検査をして異常があれば早急に修復する必要がある。新幹線では通称「ドクターイエロー」と呼ばれる電気・軌道検測車が使用されているが、「山形新幹線」にも軌道電気総合検測車 E M - 1 2 0 が導入された。この機械は、軌道状態や電車線の状態、信号通信設備の状態を同時に検測することが可能であり、コンピュータ処理された検測データをもとに速やかに補修が行える。2002 年 10 月からは最新の技術を取り入れた新型電気軌道検測車「E A S T - i」が導入され検測

業務の質的向上が図られた（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 95-7 ページ）。なお、軌道補修作業の相当な割合を占める道床突き固め、レールの通り直し作業を迅速に行うためマルチプルタイタンパーという機械が導入された。また、後作業としての道床整理、道床のかき上げ・かき込み、道床の転圧についてもバラストレギュレータの導入によって機械化が図られている（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 97-8 ページ）。

他方、電気・信号設備の保守の効率化には、電子化が寄与した。ミニ新幹線の開通にあたって、その在来線区間において、ATS-P、電子連動装置、列車検知装置、電子踏切装置などの電子化された設備が導入された。これら電子機器のハードウェアは多重化が図られ、その論理部分はソフトウェアが主体となっており、その特徴を生かして多機能化が実現されている。それらに対応するために、メンテナンスも従来の方法に加え、メモリーハイコーダー等のデジタル計測器や通信記録・更新履歴を活用したものになっている。また、デジタル化により機器の調整や、故障箇所の特特定も容易となったという。また、二重系、多重系構成となっていることで予防保全やシステムダウンすることなく故障の復旧を図ることも可能となった。他方で、雷や鳥などによって、障害を受けるという脆弱性を持つようになった（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 125-7 ページ）。

#### 4. 9. 開通後における安全対策

ミニ新幹線の安全対策についても、すべてが開通前に打たれたものばかりではなく、開通後にトラブルが発生したことで事後的に行われたものもあった。既に述べた、豪雪時の架線事故を受けて沿線の樹木の伐採、枝払いした例もその一つである。そのほかに、下記のような事例もあった。

##### (1) 「山形新幹線」

「山形新幹線」の開通後、トラックが踏切を無理に横断しようとして、「つばさ」が急停車するという事件が発生した。これに対して遮断桿が見やすくなるよう上下 2 本設置するなどの安全対策が実施された。また、信号機故障や車両の連結不具合、冷房装置故障などのトラブルが発生したため、信号機や車両の再点検が行われた。それでも、1992 年 11 月に踏切のない線路を生活道路として横断していた男性が「つばさ」にはねられ死亡する事故が発生したり、山間部では天然記念物のカモシカがひかれたり、蛇が電車線にからまってショートし「つばさ」が遅れるなど、在来線を走る高速列車ならではの事故も多く発生した（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 32 ページ）。

また、2001 年 12 月には、新庄駅発車後「つばさ」のパンタグラフが電車線から離れて停車してしまっ。原因は新庄駅構内の電車線に付着した雪が竹輪上に成長してパンタグラフに落ち、その重さでパンタグラフが下がったことであつた。これに対しては監視カメラの設置をし、電車線に着雪が発生した場合に、電源を切って除雪を行うという対策が行

われた（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 52 ページ）。

## （２）「秋田新幹線」

「秋田新幹線」でも開通後に思いがけないトラブルが起こった。１つは、盛岡駅到着時に連結器のカバーが、走行中の風圧などで凍りつき開かないという事態である。これに対しては、カバーの周りの融雪用電熱線容量をアップして対処がなされた。もう１つは、東北新幹線区間において、車体についている雪が線路上に落下し、バラストが跳ね上がって窓にぶつかるという事故が起こった。これに対してはバラスト飛散防止のスクリーンを設置したり分岐器部のスクリーンを敷設したりする対処がなされた（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 42-4 ページ）。

## ５．ディスカッション

安全形成の視点からミニ新幹線を考えたとき、新幹線との違いとして、在来線を走る列車であることから、ローカル列車との線路の共有があること、道路との交差があり踏切が存在していることなどがある。山中を通過しており、起伏も多く、雪や動物などの影響も受けやすい。また、線路の曲線の半径も小さく、トンネルや橋梁、駅のプラットホームなども在来線のもの部分が部分的に改良を施されて使われているため必ずしも直通列車に最適化されてはいない。このように、ミニ新幹線は新幹線に比べると、攪乱要因が多いことが大きな特徴となっている。これらを回避するために、新幹線と同様に、天候や起伏の影響を受けないようにトンネルを掘って、道路や他の鉄道路線とも隔絶させた独自路線を建設することは、物理的には可能であっても、制度的に実現できなかった。つまり、新幹線建設計画は法規制で縛られており、その計画を差し置いて、山形や秋田に向けて新幹線を建設することは、制度的に許容されないものであった。また、たとえ、法規制がなかったとしても、独自路線による新幹線建設に必要となる巨額の投資を回収できるだけの需要が存在するとは思えない。ましてや国の計画とは別に地方路線を整備しようとするときの推進主体は、地方自治体とＪＲ東日本という今や一個の民間企業となるのであって、ますます採算を度外視するわけにはいかない。こうした状況において、新幹線と在来線との直通列車運行によるミニ新幹線という解決は、法規制・政治・経済という制度的諸要因と物理的な諸要因との複雑な関係のもとで、高速鉄道ネットワークを地域に広げたいという地元自治体とＪＲ東日本という推進主体の利益のもとに実現したものだったといえる。

さらに、ミニ新幹線を実現する際においても、物理的諸要因と経済的諸要因、社会的諸要因との関係が、その安全形成に深く関わった。在来線の大幅な曲線改良をしたり高架化して踏切を全く無くしたりすることは経済的に断念された。経済的コストは、地形や技術的困難性、用地買収など、物理的および社会的な諸要因との関わりによって、変わってくる。結局、資金や採算などを考慮しながら、可能な範囲内での曲線改善や踏切の削減など

はなされたものの、全てを変えることはなされなかった。また、線路の規格問題についても、経済性と運行効率という観点から、「標準軌方式」、「三線軌方式」と「標準軌、狭軌単線並列方式」との併用という、技術的複雑性（列車選別装置や特殊な分岐器が必要となる）を受け容れながらも、諸要因との関係において選択がなされた。

そのほかにも、一定範囲内における攪乱要因の削減が図られている。たとえば、残された踏切は視認性を高めたり、大型支障物検知装置が設置されたりという対策が図られた。ローカル列車との関係においても「山形新幹線」の在来線区間においては、工事着手前には夜行列車や貨物列車が走行していたが、仙山線など他の線区を迂回させる（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 17 ページ）ことで攪乱要因が減らされた。保線についても、電気軌道検測車やマルチプルタイタンパーやバランスレギュレータなどの機械化が測られ効率化・徹底化が図られた。トンネルや橋梁、駅のホームなども必要な補強や調整がなされた。さらに、高速列車運行における安全を高めるために、運転士の注意力に依存する従来のATS-Sは、運転士の注意力に依存せず連続的な制御をするATS-Pに置き換えられ、また、信号を制御する連動装置も電子化された。また、急な下り坂や踏切の存在などにより、ミニ新幹線の車両には、新幹線車両よりも、強いブレーキ、多重のブレーキが付加されている。

新幹線との直通運転がもたらす攪乱要因への対処も見られる。福島駅や盛岡駅における東北新幹線とミニ新幹線との分離と併合の場においては、電圧や信号制御方式などにおいて新幹線と在来線の異なる規格が共存する場所であるため、様々な設備的かつ手続き的な対策がなされていた。また、ATCとATS-Pとの切替は手動でなされるが、それがなされなければ設備が列車の進入を受け付けられないなど、機械と人とが補完しながら安全を確保しようとする仕組みも組み込まれている。また、路線の形状や制限速度の違いからは、新幹線区間における高速走行性能と在来線区間における曲線通過性能との間のトレードオフの問題があったが、これについては車両設計において、シミュレーションと要素技術開発を重ねることで、両方の要求を満たす車両が開発された。さらに、相対的に攪乱要因の多い在来線区間における直通列車の遅延が、東北新幹線に影響を及ぼすことを取り除くため、一定の遅延が生じたときは、連結をしないで各々単独運転をし、そのために必要となる運転士を待機させておくというバッファを設けている。

このような状況の下に実現されたミニ新幹線であるが、時速 200 km 以上での走行は新幹線と見なされてしまうため法的に認められないとしても、実際には、それどころか、はるかに遅い最高速度毎時 130 km 以下に設定され、曲線通過などにおいては、それをさらに下回る制限速度が定められているのは、物理的諸要因、経済的諸要因、社会的諸要因との関係において、安全を確保しながら運行させるには、速度を落とすことが効果的な対策であることを示している。つまり、新幹線より社会的・物理的な攪乱要因が多いミニ新幹線においての安全の形成は、曲線の改良やATS-P、電子連動装置、踏切の改良、保線の機械化、ブレーキの強化などのほか、速度の制限という強力な施策によって、実現されてい



るといえる。

他方、組織面での安全対策としては、これについては、新幹線と共通しているが、運行管理においてはコンピュータシステムを利用し、指令所のコンピュータモニター上で集中制御をしている。輸送、運用、施設、電力、信号・通信の各指令機能は同じフロアに集められ、それぞれのコンピュータシステムが連繫され、また新幹線や在来線のシステムとも連繫がなされている。なお、個人への教育訓練については、まだ詳しい資料を得ることができていないが、少なくとも「意識付け」としてATCからATSへの切替を手動で行っていること、列車の併合についてもATS-Pでバックアップしながらも手動で行っていることは、基本的な安全は機械で担保しながらも、人間の意識も重視している点が見られる。とりわけ、攪乱要因が多い在来線区間においては、安全の確保には人間の役割も重きが置かれていると思われる<sup>17</sup>。

これらの対策によっても、予見されなかったトラブルが開通後に起こった。新幹線においても同様であるが、こうしたトラブルのフィードバックによって、安全対策が強化された。なお、攪乱要因を減らすための対策が新たな攪乱要因をもたらすことも指摘しておく必要があるだろう。たとえば、連動装置などの電子化は、温度やチリや雷や周辺機器のノイズ電波の影響について新たな脆弱性をもたらすものであった。もちろん、その導入によって減らすことのできた攪乱要因があることを忘れてはならない。

もう一つ、注意を払わなければならないことは、安全対策の強化が潜在的な危険性を高めるスピード向上や運行密度の向上を促進する傾向についてである。鉄道による都市間輸送は、航空機など他の交通手段との競争も厳しく、到達時間短縮が一つの鍵になっている（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 52 ページ）。新幹線においては、東海道新幹線の場合、東京～新大阪間が 1964 年の開業当初は 4 時間であったものが、1966 年には 3 時間 10 分となり、1987 年には 3 時間を切って最短 2 時間 56 分で結ばれるようになった。さらに 1992 年に 300 系「のぞみ」が導入されると、最短 2 時間 30 分に短縮された（JTB 時刻表）。一方、1982 年に開業された東北新幹線の最高速度は、当時の東海道新幹線と同じ毎時 210 km であった。その後、1985 年に一部の列車が毎時 240 km の運転を開始した。1997 年の「秋田新幹線」開業に合わせ東北新幹線宇都宮・盛岡間で毎時 275 km の運転が実施された（ミニ新幹線執筆グループ 2003, 53 ページ）。これにより、開業当初、大宮～盛岡間で 3 時間 17 分掛かっていたものが、1997 年では区間が広がった東京～盛岡間で 2 時間 21 分に所要時間短縮がなされた（JTB 時刻表）。また、既に述べたように、「山形新幹線」開業で、東京～山形間の所要時間は、3 時間 9 分が 2 時間 27 分に、「秋田新幹線」開業で、東京～秋田間の所要時間は、4 時間 29 分が 3 時間 49 分となった。

また、運行密度については、東海道新幹線については 1964 年の開業当初の下り列車本数は 30 本であったものが、1968 年には 61 本と倍増し、岡山まで山陽新幹線が開通した 1972

---

<sup>17</sup> 地域住民を対象とした踏切事故防止キャンペーンのような安全啓発運動もなされている（JR 東日本東北工事事務所 質問状回答）。

年には79本、博多まで開通した1975年には100本となった。さらに、のぞみが導入された1992年には184本、1997年には201本となり、2008年で219本となっている。東北新幹線については、開業の1982年には下り列車本数は14本、翌1983年には29本、上野駅開業時の1985年に41本、「山形新幹線」開業時の1992年に61本、「秋田新幹線」開業時の1997年に76本となり、2008年で81本となっている。これらの数字には一部区間のものも含まれているが、運行密度の増加傾向は明らかといえよう。

開業後のミニ新幹線については、「山形新幹線」の東京～山形間の所要時間は最短で2時間27分と開業当初からほぼ変わらず、本数は、開業された1992年に下り14本（「つばさ」単独運転も含む）であったものが、2008年に17本（「つばさ」単独運転も含む）と微増である。「秋田新幹線」についても、東京～秋田間の最短所要時間は、2008年で3時間50分とほぼ変わらず、本数も下り本数で開業時の14本が2008年に16本と微増である（JTB時刻表）。したがって、ミニ新幹線開業後は、所用時間短縮や運行密度はさほど変わっていない。このことには、需要量関わっていると見られる。

## 6. 結論

在来線と独立し、道路などとも隔絶した路線を使う新幹線とは異なり、ミニ新幹線は、特定の制度的・経済的な状況のもと、在来線路線を使い、道路との交差もあるなど、より攪乱要因の多い技術システムである。速度の向上や新幹線からの直通による利便性の向上を図りつつも安全を確保するために、物理的、制度的、組織的な諸要素からなる数多くの対策が細部に至るまで施されていることが事例研究から明らかにされた。しかし、その態様は、制度的・経済的な条件の相違によって、新幹線とは異なる点も少なくなかった。とくに、注目すべき基本的な相違としては、速度抑制（最高時速130km以下）とブレーキ強化が挙げられる。これらの前提には、鉄道システムの安全は「閉塞」の条件の下で「停止」によって一般的には確保されるということがある。こうして、多くの攪乱要因に対応するには、潜在的な危険因子の縮小と攪乱要因防止策の強化の両方が対策として重要であることが、この事例から明らかとなった。なお、この事例に示した安全形成活動の成果については今後の研究課題としておきたい。

[2009.10.15 941]

**謝辞** インタビューおよび質問状の回答にご協力いただいた東日本旅客鉄道株式会社東北工事事務所の多田秀彰氏、山口哲氏、國分春男氏、小松実氏、橋浦晃氏に深く感謝いたします。また、仲介していただいた神戸大学大学院経営学研究科教授水谷文俊先生、日本交通学会事務局の尻引郁哉氏にもお礼申し上げます。時刻表関連のデータ収集には神戸大学大学院経営学研究科博士後期課程の木佐森健司氏にリサーチアシスタントとして多大なる助力をいただいた。併せてお礼申し上げます。最後に匿名の鉄道関係者には、鉄道技術や規則について、詳しくご教示をいただいた。厚く感謝いたします。

## 参考文献

- 佐藤信博 (2007), 「新在直通の新幹線」, 『新幹線 EXPLORER』 第 5 巻, イカロス出版, 12-42 ページ。
- 新星出版社 (2007), 『カラー版徹底図解・新幹線のしくみ』, 新星出版社。
- 原拓志 (2008) 「安全の社会的形成に関する予備的考察」『国民経済雑誌』第 197 巻第 4 号, 31-44 ページ
- ミニ新幹線執筆グループ (2003), 『ミニ新幹線誕生物語：在来線との直通運転』, 成山堂書店。
- J T B時刻表, 1964 年から 2008 年までの各号。
- J R 東日本東北工事事務所 (1997), 『秋田新幹線：大いなる夢をのせて—新世紀への疾走』 (秋田新幹線工事誌), 東日本旅客鉄道株式会社東北工事事務所。
- Weick, K. E. and K. M. Sutcliffe (2001), *Managing the Unexpected: Assuring High Performance in an Age of Complexity*, San Francisco: Jossey-Bass. (西村行功訳 『不確実性のマネジメント—危機を事前に防ぐマインドとシステムを構築する』ダイヤモンド社, 2002 年)。
- Weick, K. E. and K. M. Sutcliffe (2007), *Managing the Unexpected: Resilient Performance in an Age of Uncertainty*, 2nd edition, San Francisco: Jossey-Bass.

\* 本研究については、日本学術振興会科学研究費補助金・基盤研究 (C) 課題番号 19530333 の助成を受けている。