



621.33 : 625.1/.2 : 656.2

新幹線電車の動作信頼度*

ト 部 舜 一**

1. まえがき

1-1 研究の前提 東海道新幹線の経営においては、運転保安がまず第一に要請される。すなわち、列車群を所定の計画にあわせて、遅滞なく運転し、乗客大衆の旅行目的を支障なく満足させねばならない。そのためには信号保安や営業上のサービスにおこたりがあってはならないが、高速で走行する車両自体の安全性が確保されていることが、必須の要件である。言葉をかえていえば、電車としての新幹線列車の動作信頼度（以下、単に信頼度という）が十分に高い値をもっていることが肝要である。

国鉄東海道新幹線の開業以来、幸いにも大きな運転事故はなく、国民の信頼を保ちえているが、どれくらいの信頼度数値となっているのであろうか、という素朴な疑問がこの研究の出発点であった。在来線の鉄道車両とその運転に関する過去の豊富な経験や知識と新システムについての研究成果とが動員されて、新幹線電車が計画され、設計された。ついで、多くの車両製造会社の尽力によって、すぐれた性能をもつ車両群が誕生した。しかし、平均時速 210 km/h の営業運転は世界ではじめてのことゆえ、つくり出された車両の動作信頼度数値のいかに、大きな関心のまとであったわけである。

これら車両群に対しては、日夜、点検、検査、加修、調整などの保全努力が与えられているが、これらの作業の評価を行なうことが、経営面から寄せられた第2の要請であった。一般的にいて、機械類の保全に関しては、いままで工学面での理論は貧しく、主として経験と勘とにたよるものであったので、過大な労働力が保全作業に投入されていると思われる。この要請は信頼性理論の導入によって、安全性をよりいっそう高めると同時に、保全費用の低減を期待したいという願望を秘めていた。

さらに、電車としての信頼度数値を知りたい、という第3の要望は、きたるべき山陽新幹線用電車に対処するという未来性からもたらされた、といえるである

う。電車列車の操縦とは、運転士という人間が走行路線についての諸環境条件の情報を知しつし、認識し、判断し、同時に定められた営業上の列車運行要件に従属し、それらの基底のもとに動力機械群、保安機械群、旅客サービス機器群などを制御する作業である。いわゆる人間-機械システムの一つである。人間と機械とが体系としてループを形成している、とすると、人間群（運転士、車掌および他の乗務員を含む集団）の技術と労働とはいかにあるべきか、を考えなければならない。この場合共動する機械系の性能、なかんずく、信頼性を明確にはあくする必要があることは、言をまたない。逆にいえば、人間群と協同すべき機械系は、これこれの信頼度を保有しなければならない、という新しい設計前提を未来の新車両に加味したい、と車両の設計陣は考えはじめたのである。

東海道新幹線の誕生後、数年をへて、国鉄現場にも電子計算機が導入され、車両の管理に使用されはじめた。まず、単純な EDP 的な利用であって、車両の運行履歴、保守データなどの数値を電子計算機で処理してファイルするという段階であった。これが現場の日常業務として定着すると、蓄積した資料群をより前向きな管理政策に利用し、より高度な電子計算機利用の実をあげたい、という期待が運転管理者側に生まれはじめた。履歴データと故障データとを加工して信頼度数値を求め、それにもとづいて車両の機器、部品などの信頼度管理システムを構成しえないであろうか。なしうるとすれば、どのようなソフトウェアがよいのか。この試行が、第4番めに登場した研究要請であった。

この研究作業は上述の四つの背景をもっていた、といえる。

1-2 研究の目的 新幹線車両は機械のトータルシステムの一つであるが、これをいくつかのサブシステムにわけることができる。車体、走り装置、集電系統、主回路、ブレーキシステム、信号保安装置、乗客サービス機器システムなどである。このうち、電車操縦および列車群運転にとって重要なサブシステムは、主回路とブレーキシステムである。主回路は駆動モータを含むので、動力システムといいかえてもよく、ブレーキシステムは減速、停止の作動をつかさどる機械なの

* 原稿受付 昭和46年5月11日。

** 正員、千葉工業大学（習志野市谷津町 7-1916）。

で、運動制御システムといってもよい。新幹線電車の動作信頼度の計算は、この二つのサブシステムを対象として行なわれた。それぞれのシステムが累積走行キロに対して保持する信頼度数値を求め、もって前節にのべた経営的、技術的な四つの要請を充足することが、われわれの研究の目的である。

2. 本 論

2.1 電車の故障と新幹線電車故障報告処理方式

2.1.1 故障の分類 車両故障はそれが列車運転に及ぼす影響度を考慮し、つぎの三つに分類される。

- A故障：車両の故障が原因で運転事故（運転障害を含む）となったものをいう。遅延を生じた場合は、旅客車において10分以上が該当する。
- B故障：車両の出入区から入区までに発生した故障で、運転に支障をおこしたものの、ならびにA故障、C故障に該当しないものをいう。
- C故障：区において発見した故障のうち、車両の検査作業上参考になるものをいう。

したがって、列車の運転に関係のある故障としては、A、B故障を考えればよいことになる。すなわち、われわれの研究からはC故障は除外した（C故障とは国鉄特有の命名で、たとえばねじのゆるみ、よごれ、きず、要調整、などがこの部類にはいる。一般的な用語でいえば、不具合箇所となる）。

2.1.2 走行キロ起算点 信頼度を検討するためには、その起算点をどのようにとるかが問題となる。国鉄における車両部品の保守は、定期検査に全数交換を行なうという一般的な予防保守方式を採用しておらず、検査を行なった時点で、検査基準に抵触する部分のみの加修を行なっている。したがって、電車はこのようなにして保守された部品の集合体である。

ゆえに、信頼度を計算する起算点としては、解体して行なわれる全般検査を終了して工場を出るときをとり、そのときを新品とし、全般検査実施、すなわち工場入場までの走行キロを計上した。運転所における仕業検査、中間検査、台車検査などは、それぞれの検査対象機器の寿命に影響を与えないとした。しかし、故障の発生によって取替えられた機器の寿命は更新されるとし、取替え時を起算点とした。

2.1.3 故障報告の内容 新幹線においては、次の項目を検討する目的で、故障の報告内容が決定されている。(1) 電車および機器の信頼度、(2) 故障に伴う損失額、(3) 電車構成各機器の重要度、(4) 保全努力の効果、(5) 構成機器の適正信頼度配分。

したがって、必要な報告内容のおもなものはつぎの

とおりである。(a) 発生年月日、形式、車号、(b) 故障機器、(c) 故障時の外部条件、天候、速度、(d) 故障状況、(e) 故障発見時、(f) 故障の影響、(g) 検修歴、定期検査後の走行キロ。報告書の様式を表1に示した。

2.1.4 故障報告の処理方式 表1により報告された故障は、所定のコードによってカードにパンチされ、ついで1件ずつ電子計算機により磁気テープ内にファイルされる。一方、各編成電車の日別走行キロは、別途に計上記録され、これも同様な操作をへて磁気テープ内にファイルされている。ゆえに、二つの磁気テープをつき合わせれば、編成電車ごとの累積走行キロ数と故障の履歴とを対応して電子計算機よりアウトプットさせることができる。

2.2 信頼度計算の方法

2.2.1 考え方およびデータの範囲 主回路およびブレーキシステムは多くの機器よりなるシステムであるので、これらの信頼度はシステム信頼度である。ゆえに、これを求めるために、まず、それぞれのシステムを組成機器に分解し、部分機器としての信頼度を計算し、ついでこれを合成した。故障の多い部分機器(たとえば、電動機)は、さらに組成部品に分解し、それを計算単位とした。

全般検査のため工場に入場する電車については、各機器は故障を生じていない場合でも分解されて、検

表 1 新幹線電車故障報告様式

項目	1~4
整理番号	1~4
注意番号	5 (実数)
発生年月日	6~11
編成	12~14 (車1: R12, W13, S14, W15, T16)
形式	15~16 (車数)
車号	17~18 (車数)
故障種別	19 (車種) 20 (車種) 21 (車種) 22 (車種) 23 (車種) 24 (車種)
故障種別	25 (車種) 26 (車種) 27 (車種) 28 (車種) 29 (車種) 30 (車種)
故障種別	31 (車種) 32 (車種) 33 (車種) 34 (車種) 35 (車種) 36 (車種)
故障種別	37 (車種) 38 (車種) 39 (車種) 40 (車種) 41 (車種) 42 (車種)
故障種別	43 (車種) 44 (車種) 45 (車種) 46 (車種) 47 (車種) 48 (車種)
故障種別	49 (車種) 50 (車種) 51 (車種) 52 (車種) 53 (車種) 54 (車種)

全社編67-243-G50 R5 第A48記和 年月日作成 作成者

査、修繕される。よって、われわれが計算に使用するデータは、中途打切りのデータとなっているわけである。ために、計算の方法は阿部俊一の“中途打切りデータによる信頼度計算の方法⁽¹⁾”によった。

データはすでにのべたように、A, B 故障に限定し、主回路の場合は昭和 41 年 (1966 年) 4 月 1 日より、43 年 3 月 31 日まで、ブレーキシステムの場合は昭和 42 年 4 月 1 日より、43 年 9 月 30 日までのデータを使用した (両方で時期がずれた理由は、昭和 41 年度については、後者のデータが電算化されておらず、散逸してしまっていたからである)。

ただし、これらの使用データ期間以前に工場に入場して全般検査を終えた編成電車は計算から省いた。

上述の期間中は、新幹線利用の旅客が急増していたので、新製電車がつぎつぎにと営業に投入されていた。したがって、車両数 (機器数も) は計算の時点によって変化する。また、故障した機器は新品と取りかえられ、新品は走行キロを更新するので、走行キロがふえるに従って、故障確率を求めるときの母数となる機器数は減少する。

2・2・2 計算の手順 故障データと走行キロデータは、電子計算機の磁気テープ内にファイルされているので、これらをつき合せて、計算単位となる部分機器ごと、あるいは機器部品ごとに、編成電車番号別走行キロ (月末の累積走行キロの数値で与えられる) と故障発生年、月、日を計算機からタイプアウトさせることが、手順の第 1 である。以下、追って示す。

(1) 故障発生時点における累積走行キロ t を内そう法により求める。

(2) 同じ累積走行キロにおける部分機器 (あるいは機器部品) の数を勘定する。= X 。

(3) 累積故障件数をその累積走行キロに対して勘定する。= Y 。

(4) (2)(3)の数値を用い、累積走行キロに対して、故障確率 $F(t) = Y/X$ を計算する。

(5) $R(t) = 1 - F(t)$ を求める。 $R(t)$ が機器あるいは機器部品の信頼度数値である。

(6) 機器部品の場合はこの $R(t)$ を合成して、機器の信頼度を計算する。

(7) 機器の信頼度を、さらに合成してシステムの信頼度を計算する。しかし、主回路においては、この数値は 1 ユニット (2 両が電車編成のユニット) についてであるので、なお、

(8) 1 編成電車としての信頼度を計算する。

(9) ブレーキシステムについては、ユニットごとにまとまる機器と、1 編成電車全体にわたって一つの機

器系となるものがあるので、主回路のような合成は実用的意味がうすい。ゆえに、各機器ごとの“条件付信頼度”を求める。

年令 t (工場出場後の累積走行キロ) なる機器が、さらに Δt (列車として考えると、東京—新大阪間の距離) だけ走行する間に故障する条件付故障確率 $F(\Delta t|t)$ は、その機器の信頼度を $R(t) = e^{-(t^m/a)}$ とすると

$$F(\Delta t|t) = 1 - R(t + \Delta t)/R(t) \\ \approx 1 - e^{-(\Delta t m t^{m-1}/a)} \dots \dots \dots (1)$$

したがって、

$$R(\Delta t|t) = e^{-(\Delta t m t^{m-1}/a)} \dots \dots \dots (2)$$

(10) この機器ごとの条件付信頼度を用い、1 編成電車について、ブレーキ各機器ごとの合成条件付信頼度を計算する。

われわれは上述の手順をプログラム化し、計算実施を電子計算機により行なった。

2・2・3 主回路について 主回路はつぎの七つの部分機器から成り立っており、おおむね番号順に配列している。1) タップ切換器, 2) 主整流器, 3) 主制御器, 4) 主電動機, 5) 接触器, 6) 保護装置, 7) その他。

このうち主電動機は電機子、界磁、刷子保持器およびその他の合併、の三つの部品に分解して考えた。すなわちそれぞれの部品の故障確率を $F_{41}(t)$, $F_{42}(t)$, $F_{43}(t)$ とし、信頼度を $R_{41}(t)$, $R_{42}(t)$, $R_{43}(t)$ とし、主電動機の故障確率、信頼度を $F_4(t)$, $R_4(t)$ とすると、上述の 3 部品は機能的には直列結合していると考えられるから

$$F_4(t) = 1 - R_{41} R_{42} R_{43} \\ = 1 - (1 - F_{41})(1 - F_{42})(1 - F_{43}) \\ \approx F_{41} + F_{42} + F_{43} \dots \dots \dots (3)$$

$$R_4(t) = 1 - F_4(t) \dots \dots \dots (4)$$

その他という部分は、主平滑リアクトル、主抵抗器、減流抵抗器、つなぎ箱をひとまとめにした部分 7-1 と、予備励磁装置、交流フィルタをひとまとめにした部分 7-2 とに分割して計算した。

ユニット (M, M' 車 2 両が一つの編成単位となる) 信頼度を計算するために、上述の 7 部分を三つの集合体における。

I. タップ切換器, 主整流器, 主制御器

II. 主電動機, 接触器, 保護装置

III. その他

I の集合は 3 部分が直列結合していると考えられるので、それぞれの信頼度を R_1 , R_2 , R_3 とすると

$$R_1 = R_1 R_2 R_3 \dots \dots \dots (5)$$

II の集合は、まず 1 両分で考えると、主電動機が 4

基直列結合し、接触器（信頼度を R_5 ）が2基直列になり、保護装置の信頼度は1（後述）であるから、四つの主電動機全体の信頼度を R_{4s} とし、二つの接触器全体の信頼度を R_{5s} とすると

$$R_{4s} = R_4^2, R_{5s} = R_5^2$$

この主電動機群と接触器群は1両内においては直列結合しているから、合成信頼度は $R_{4s} R_{5s}$ となる。さらに、1ユニットについて考えると、2両は並列結合しているとみられるので、集合IIの信頼度は

$$R_{II} = 1 - (1 - R_{4s} R_{5s})^2 = 1 - (1 - R_4^2 R_5^2)^2 \dots\dots\dots (6)$$

IIIの集合は1ユニット中において、 R_{71} の部分は2並列、 R_{72} の部分がそれに直列結合しているから

$$R_{III} = \{1 - (1 - R_{71})^2\} R_{72} \dots\dots\dots (7)$$

集合I, II, IIIは直列結合している。ゆえに、ユニット信頼度を R_u とすると

$$R_u = R_I R_{II} R_{III} \dots\dots\dots (8)$$

計算実施時の新幹線電車は1編成が6ユニット（12両）からなっていて、そのうち3ユニットが故障したとき、所定ダイヤによる走行は不能になる。いいかえれば、1ユニットないし2ユニットが故障しても、その故障ユニットを解放した姿で運行しうる。実際上の取扱いでは、1ユニットでも故障すれば、運行を休止して、運転所において臨時修繕が行なわれる。しかし、信頼度計算のため2ユニットまでの故障に対しては、そのまま運行をつづけるという前提をおく。

また、上述の3ユニット故障で走行不能ということは、3ユニット以上の故障では、もちろん走行不能となるわけである。3ユニット以上が故障する確率 $F_T(t)$ は

$$\begin{aligned} F_T(t) &= {}_6C_3(1 - R_u)^3 R_u^3 + {}_6C_4(1 - R_u)^4 R_u^2 \\ &\quad + {}_6C_5(1 - R_u)^5 R_u + {}_6C_6(1 - R_u)^6 \\ &= 20(1 - R_u)^3 R_u^3 + 15(1 - R_u)^4 R_u^2 \\ &\quad + 6(1 - R_u)^5 R_u + (1 - R_u)^6 \dots\dots (9) \end{aligned}$$

となる。ゆえに1編成電車の信頼度 $R_T(t)$ は

$$R_T(t) = 1 - F_T(t) \dots\dots\dots (10)$$

で与えられる。

2・2・4 ブレーキシステムについて ブレーキシステムは、主回路と異なり、1車両あるいは1ユニットごとに独立しては構成されず、編成中の各機器はその故障の状態によって、直列結合あるいは並列結合と考えられるのである（たとえば故障した機器が、他の同種機器によってバックアップされる場合があるし、これに反して、故障機器の動作不能によって、システム全体が作動不完全になる場合がある）。そして、列車の運転取扱い上からいえば、保安優先であるので、電

動空気圧縮機関係以外はすべて直列結合と考えられる（たとえば、増圧シリンダ、油圧シリンダ、基礎ブレーキ装置は、一つの車軸における故障は他の軸に影響を与えないが、運転取扱基準規程にしたがって、1軸の故障は全故障と見なすものとしたのである）。この電動空気圧縮機は各ユニットごとに独立に装備され、1編成6ユニット中3ユニットが故障するまで、その機能は失われない。

ブレーキシステムを構成する部分機器の分類は、故障件数の大小、機能の内容、現場における保守のあり方などを考え、つぎのようにした。

1. 電動空気圧縮機（1編成あたり6単位）。
2. ブレーキ弁、電磁直通制御装置（1編成あたり1単位）。
3. 電磁弁、電圧スイッチ（1編成あたり12単位）。
4. 増圧シリンダ、油圧シリンダ、基礎ブレーキ装置（1編成あたり48単位）。
5. 滑走固着検知装置制御部（12単位）。
6. 滑走固着検知装置速度発電機（48単位）。
7. その他（12単位）。

電磁弁、電圧スイッチなどは、実装備数によらず、1車両を1単位とした〔1車両あたりの故障確率を $F(t)$ とし、装備数を N とすると、1個あたりの故障確率は $F(t)/N$ となり、直列結合であるから、1車両あたりの信頼度は、 $\{1 - F(t)/N\}^N$ となる。しかし、 $F(t)$ は小さいと考えられるから、上式 $\approx 1 - F(t)$ となり、計算結果には大きな影響を与えない〕。

上述の分類により、まず故障確率および信頼度を計算する。ついで、2・2・2項にのべた方法により、条件付信頼度を計算する。

ついで、条件付信頼度の数値を利用し、1編成電車としての機器別信頼度を計算する。その考え方は主回路の場合と同様である。たとえば、電動空気圧縮機の1編成電車あたり条件付信頼度 $R_{1s}(\Delta t|t)$ は

$$= 1 - \sum_{n=3}^6 {}_6C_n F_1(\Delta t|t)^n R_1(\Delta t|t) \dots\dots (11)$$

で与えられる。また、増圧シリンダ、油圧シリンダ、基礎ブレーキ装置については

$$R_{4s}(\Delta t|t) = \{1 - F_4(\Delta t|t)\}^{48} \dots\dots (12)$$

となる。

したがって、ブレーキシステム全体の1編成電車あたりの条件付信頼度 $R_T(\Delta t|t)$ は、

$$R_T(\Delta t|t) = R_{1s} R_{2s} R_{3s} R_{4s} R_{5s} R_{6s} R_{7s} \dots\dots (13)$$

となる。右辺は部分機器のそれぞれの1編成あたり条件付信頼度を示す。

3. 結 論

3.1 結果

3.1.1 主回路について 累積走行キロに対する故障確率を計算し、その結果を両対数方眼紙上に植点し、回帰線を求めた結果を以下に示す。ここに $F(t)$ = 故障確率, $R(t)$ = 信頼度 = $1 - F(t)$, t = 累積走行キロ (単位 万キロ)。

(1) タップ切換器

$$F_1(t) = 1 - e^{-(t^{1.144}/1490)}, R_1(t) = e^{-(t^{1.144}/1490)}$$

以下すべて、 $F(t) = 1 - e^{-(t^m/\alpha)}$, $R(t) = e^{-(t^m/\alpha)}$ という形になるので、 α と m の値を表2に一括してかかげた。主電動機はさらに3部分にわけた。結果を図1に示した。

表2 主回路の各部品の α , m の値

名 称	α	m
1. タップ切換器	1490	1.144
2. 主整流器	15400	1.766
3. 主制御器	1060	1.058
4. 主電動機	5310	1.488
4. 1 電機子	15800	1.488
4. 2 界磁	14500	1.597
4. 3 刷子保持器ほか	9630	1.019
5. 接触器	4070	1.304
7. 1 主平滑リアクトル, 主抵抗器, 減流抵抗器, つなぎ箱ほか	1450	1.186
7. 2 予備励磁装置, 交流フィルタ	460000	3.009

(注) 6. 保護装置については、 $R(t) = 1.0$

表3 主回路の各集合の故障確率

集合	I. 導入部	II. 主幹部	III. 援助部
t 走行キロ (万キロ)	$F I$	$F II$	$F III$
6	0.0129	0.0003	0.0001
8	0.0181	0.0006	0.0002
10	0.0237	0.0010	0.0003
20	0.0545	0.0071	0.0024
30	0.0894	0.0215	0.0075
40	0.1275	0.0461	0.0171
50	0.1673	0.0825	0.0324
60	0.2087	0.1266	0.0544

(注) 信頼度 $R = 1 - F$

表4 新幹線電車主回路について1ユニットの信頼度および編成電車信頼度

累行(万 積キロ 走) t	1ユニット		編成電車	
	故障確率 F_u	信頼度 R_u	故障確率 F_T	信頼度 R_T
6	0.0133	0.9867	0.00004	0.99996
8	0.0189	0.9811	0.00013	0.99987
10	0.0250	0.9750	0.00030	0.99970
20	0.0635	0.9365	0.00442	0.99558
30	0.1157	0.8843	0.02364	0.97636
40	0.1819	0.8181	0.07796	0.92204
50	0.2608	0.7392	0.18752	0.81248
60	0.3465	0.6535	0.34589	0.65411

(2) ユニット信頼度について 2.2.3項でのべた集合I, II, IIIは、主回路の導入部, 主幹部, 援助部と見なすことができるが、これらについての計算結果、累積走行キロと故障確率とを表3に示した。ユニットとしての故障確率, 信頼度を表4に示した。

(3) 編成電車としての信頼度 結果を表4および図2に示した。

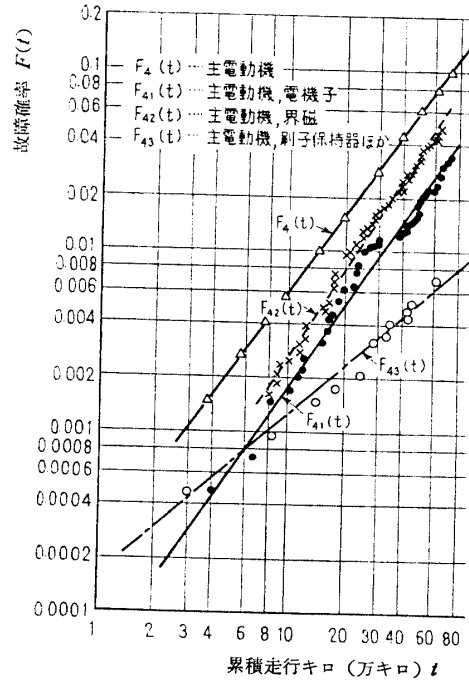


図1 主電動機の故障確率

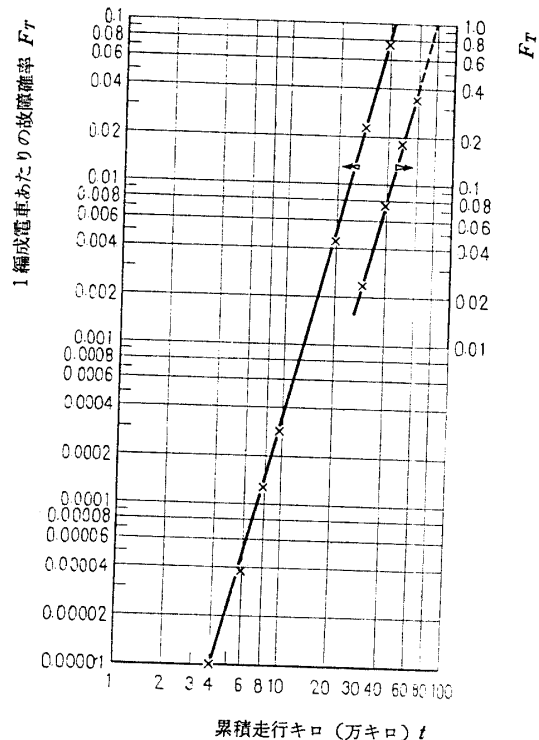


図2 新幹線電車主回路について編成電車としての故障確率

3・1・2 ブレーキシステムについて 結果は主回路と同様に、 $F(t)=1-e^{-(t^m/a)}$, $R(t)=e^{-(t^m/a)}$ という形で示されるので一括して表5に示した。

工場出場後、 t 万キロを走行したブレーキシステムが、さらに東京-新大阪間 Δt を走行する場合の編成電車としての“条件つき信頼度”を表6に示した。

3・2 結論

(1) 3・1 節で示したように、主回路およびブレーキシステムにおいては、特別なものを除き、各構成部品はかなり高い信頼度を有する。これは

(a) 新幹線開業までの国鉄部内の研究と経験との熟成。

(b) 車両製造会社各位の技術と努力。

(c) 国鉄部内における開業以来の保全努力。

の成果であろうと思われる。そして、3・1 節の結果および計算過程は、この研究の背景となった四つの要請を満足させるものと考えてよいであろう。

(2) 編成電車としての信頼度は、主回路において

は、累積走行キロ 80 万キロで、0 になるものと予測される(図2参照)が、この計算の仮定は2ユニットが故障するまで放置するというものであった。実際は1ユニットでも故障すると、運転所において臨時修繕が行なわれる。ゆえに、信頼度0になる累積走行キロは、80万キロをはるかに越すと考えてよい。したがって、現在の全般検査回帰キロ(出場から入場までの規定走行キロ)60万キロをもっと延伸することが可能である。

ブレーキシステムについても、同様なことがいえる(表5参照)。

(3) 主回路中の主電動機については、ユニットとしての信頼度は他に比べて高くない(R_{4s} あるいは R_{2s} の値を参照)。これは1車両の四つの主電動機が直列結合していることに一つの原因がある。これを並列結合とし、1基の故障については、それを乗務員が解放しうるような処置が考えられれば、信頼度ははるかに高くなるであろう。

表5 ブレーキ機器の故障確率

機器	電動空気圧縮機	ブレーキ弁電磁直制御装置	電磁弁直通電スイッチ	増圧シリンダ油圧基礎装置	シリンダブレーキ滑走固着検知装置	滑走固着検知装置	滑走固着検知装置	その他
t	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_7
走行キロ(万キロ)								
6	0.0030	0.020	0.0031	—	(2万キロ) 0.0033	0.00088	0.0027	
8	0.0035	0.024	0.0035	0.00014	(4万キロ) 0.0074	0.0011	0.0032	
10	0.0039	0.027	0.0038	0.00021	(6万キロ) 0.0120	0.0013	0.0037	
20	0.0057	0.041	0.0048	0.00075	(8万キロ) 0.0170	0.0022	0.0055	
30	0.0072	0.052	0.0056	0.0015	0.021	0.0029	0.0070	
40	0.0084	0.062	0.0062	0.0027	0.027	0.0036	0.0083	
50	0.0095	0.070	0.0067	0.0040	0.034	0.0042	0.0094	
60	0.0105	0.078	0.0072	0.0057	0.041	0.0048	0.0105	
α	892	142	605	101000	下記	4165	1040	
m	0.55	0.60	0.36	1.82	下記	0.745	0.584	

0<t<10の場合 $\alpha=675$, $m=1.18$
 10≤tの場合 $\alpha=1314$, $m=0.97$

(注) $R=1-F$

表6 編成電車についてブレーキシステムの条件つき信頼度

機器	ブレーキ弁電磁直制御装置	電磁弁直通電スイッチ	増圧シリンダ油圧基礎装置	シリンダブレーキ滑走固着検知装置	滑走固着検知装置	滑走固着検知装置	その他	列車
t	R_{2s}	R_{3s}	R_{4s}	R_{5s}	R_{6s}	R_{7s}	R_{7s}	R_t
走行キロ(万キロ)								
6	0.99990	0.99973	0.99981	0.99857	0.99972	0.99983	0.99756	
8	0.99991	0.99977	0.99976	0.99851	0.99974	0.99985	0.99754	
10	0.99992	0.99981	0.99971	0.99845	0.99976	0.99986	0.99751	
20	0.99994	0.99988	0.99949	0.99952	0.99979	0.99990	0.99852	
30	0.99995	0.99992	0.99929	0.99952	0.99982	0.99991	0.99841	
40	0.99995	0.99992	0.99910	0.99952	0.99983	0.99992	0.99824	
50	0.99996	0.99993	0.99892	0.99952	0.99984	0.99993	0.99810	
60	0.99996	0.99994	0.99875	0.99951	0.99984	0.99993	0.99793	

(注) R_{1s} ……信頼度1なので除去了。

(4) システム中の各機器の信頼度がバランスしていることは、特にある機器の故障が生じやすい、ということでないため、検修担当者として好ましいことである。この点、主回路は、主整流器を除けばおおむね満足しうる水準である。しかし、ブレーキシステムには、一、二の問題点がみられる。滑走固着検知装置制御部の信頼度の表示式が走行キロ10万キロを境にして分れることと、この数値が他に比べて高いことである。表示式が二つに分れることは、故障発生のあり方が違うのであろうと推量される。この機器と主整流器とについて、さらに技術的な研究が行なわれる必要があると考えられる。

(5) 主回路およびブレーキシステムにおいて、信頼度は $R=e^{-(t^m/a)}$ という式形であらわされる。ここにおける m の値が1より大

である機器あるいは集合は、摩耗故障タイプであると考えられる。すなわち、これらは運転士および検修担当者にとっての要注意箇所であり、重点管理を行ない、予防保全すべき箇所である。 $m=1$ の場合は、 R の値は指数分布をし、偶発故障タイプである。この形を含み $m \leq 1$ の場合は、故障が生じたときに取替え修繕を行なう、という保全対策でよいであろう。

(6) 主回路およびブレーキシステムは、人間-機械系の機械部分としては、高い信頼度をもつとみてよいであろう。したがって、このシステムに介在する人間の教育訓練はむしろ気楽なものとしてよいと考えられる(電車の操縦は在来線よりも容易であるとみることができる)。

3.3 残された研究問題 この研究を発展させるための研究問題点は数多くあるが、おもなものをあげればつぎのごとくである。

- (1) 列車速度をパラメータとして、信頼度をはあくすること。
- (2) 各部分機器に与える冗長さのあり方を価値分析的な考え方のもとに考究すること。
- (3) 故障はいかにして生ずるか、の物理を解明すること。

(4) 乗務員の操縦信頼度を人間工学面から考究すること、などである。

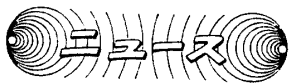
4. あとがき

この研究作業は筆者が、鉄道技術研究所に在職中に行なったものであり、運転研究室主任研究員 大部恒雄(現在、企画室補佐)、研究員 岩瀬雄治と協同である。ことにブレーキに関しては大部主研の努力を多とするものである。また、使用したデータの収集と整備は、国鉄本社運転局車務課補佐 岡部俊男はじめ課員各位、新幹線支社運転部の担当者の方々により行なわれた。ここに謝意を表す。さらに、この研究実施を後援し、激励とべんたつとを与えてくれた当時の、国鉄本社工作局車両課長 近藤恭三君、運転局調査役 曾根 茂君、事務課長 関川行雄君らに感謝をささげるものである。

この研究成果を参考にして、新幹線電車の全般検査回帰キロが60万キロより72万キロに延伸され、検修人工と修繕費用との節減が期待される段階になったことを付記しておく。

文 献

- (1) 阿部, 鉄道技術研究資料, (昭 43-12), 20, 鉄道技術研究所。



文 部 省 科 学 研 究 費

機械工学 D (数字は交付金額, 単位 万円)

▽複合系の機械的性質=金沢大工 吉村元一(30),
 ▽高強度材料の疲労強度におよぼす微小切欠きの影響=阪大工 安井一雄(30), ▽超高真空中における機械材料の疲労=徳島大工 英 崇夫(35), ▽クラッド材に弾塑性熱応力=東工大 小泉 堯(35), ▽有孔板のクリープ実験=名大工 村上澄男(35), ▽帯鋸盤による切削抵抗=北大工 金内忠彦(35), ▽不規則な表面凹凸をもつ二平面接触部の振動伝達特性=東工大 塚田忠夫(35), ▽高性能切削油剤の開発とその合理的な使用法=九大工 甲木 昭(30), ▽正面フライスによる円筒切削=九大工 坂本正史(35), ▽ねじ歯車の摩擦損失=電通大 成瀬長太郎(35), ▽すべり案内面における潤滑油膜生成現象=京大工 小西忠孝(30), ▽ころがり接触による表面層の前進塑性流れ機構=九大工 山下尚義(35), ▽断面積の変化する管路内を流れる固水二相流=秋田大工 平田 泰茂(35), ▽油圧油のキャビテーションに対するせん断の影響=横浜国大工 山口 惇(33), ▽ガス体の管内超音速輸送=九大工 松尾一泰(35), ▽高比速度の遠心機械における翼型翼列=九大工 井上雅弘(35), ▽散乱粒子を含む二相流のふく射と対流の共存

する熱伝達=東工大 黒崎晏夫(35), ▽自由表面をもつ並行気液二相流の流動および熱伝達=名大工 藤田秀臣(35), ▽燃焼ガスにおける有害成分の発生機構およびその低域=阪大工 高城敏美(33), ▽膜沸騰熱伝達=九大工 伊藤猛宏(35), ▽乱流混合気炎の構造=早大理工 小泉睦男(30), ▽粘弾性被覆材の曲げ振動=東北大工 佐藤喜一(35), ▽すべり摩擦を伴う系の振動=名大工 太田 博(35), ▽二次収束こう配法による最適化=岡山大工 佐山隼敏(35), ▽歩行のバイオメカニクス=九工大 山下 忠(35).

試験研究費 継続分

▽超高圧下の金属の疲れ試験装置の試作と実験=阪大工 大路清嗣(70), ▽レーザによる塑性ひずみ測定法の改良と応用=東工大 室田忠雄(90), ▽自動記録式組合せ応力試験機の試作=神戸大 進藤明夫(90), ▽ガスタービン翼車の実働条件下における強度試験=立命大理工 大南正瑛(90), ▽爆発成形と爆発圧着を同時に行なう方法の開発=熊本大工 藤田昌大(80), ▽数値制御による歯車研削盤の基礎的研究=東工大 石川二郎(70), ▽ボイラ蒸発管の限界熱負荷向上=九大生科研 藤井 哲(90). [服部 敏夫]