

運転曲線作成システム (SPEEDY) の開発状況

青山 龍士* (鉄道建設・運輸施設整備支援機構)

田中 峻一 熊澤 一将 (鉄道総合技術研究所)

Proceed with development of Speed Profile Calculation System "SPEEDY"

Ryuji Aoyama*, (Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency)

Shunichi Tanaka, Kazumasa Kumazawa (Railway Technical Research Institute)

Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency (JRJT) uses the speedy profile calculation system "SPEEDY" developed by Railway Technical Research Institute to perform work related to the construction of new Shinkansen and conventional railway lines. In this paper, after describing the development process and outline of the functions of the system, we introduce how the system is being used by JRJT.

キーワード：運転曲線，時隔曲線，性能曲線，電流・電力量計算，運転曲線分析図

(speed profile, train headway diagram, train performance curve, current and wattage calculation, speed profile analysis curve)

1. 開発経緯

運転曲線 (図 1) は、列車が線路上を走行したときの運転方法 (力行、惰行、ブレーキ)、およびそれに基づいて運転したときの速度と時間の変化を図に表したものである。横軸は距離を、縦軸は時間と速度を表す。図上には駅的位置や曲線区間、こう配、トンネル、分岐器、信号などの設備状況が記載されるとともに、これらによって速度が制限されている場合はその位置 (区間) と制限速度が表記される。運転曲線を作成する上で、列車はこれらの制限速度を超えることがないように、かつ、列車の能力を充分発揮しながら走行することが要求される。このときの列車の速度変化を表した曲線が速度曲線である。この速度曲線をもとに、列車の時間経過を表したものが時間曲線となる。

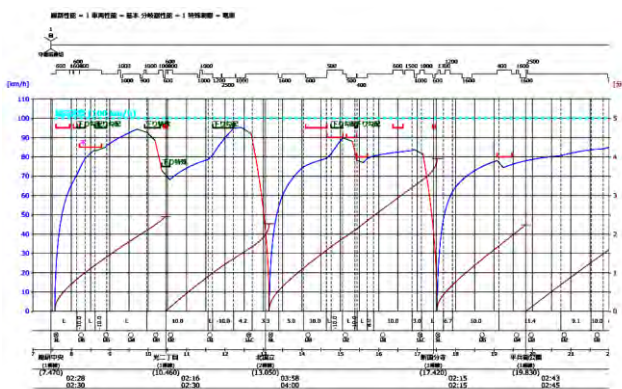


図 1 運転曲線 (SPEEDY にて作成)

これら速度曲線と時間曲線を総称して運転曲線と呼ぶ。時間曲線で得られた駅間の走行時間は、ダイヤ設定に用いられる駅間の最小走行時間 (基準運転時分) の基礎になる重要な数値となる。

従来、運転曲線は担当者による手書きで作成されてきたが、作成する担当者には、以下のスキルが求められる。

- (1) 車両性能や線路の構造などについての幅広い知識
- (2) 列車の運転操縦技術の把握
- (3) 運転理論の知識

しかし、これらのスキルをすべて身につけるためには、長期間にわたる運転業務の実務経験を要すると考えられるため、運転曲線作成担当者としての素養を持つ人材は限定されることになる。また、運転曲線の作成作業自体、多くの人手や時間を要する作業であることから、担当者や作成時期によっては運転曲線や速度査定結果に多少の差異が生じてしまう可能性が高い。

これらの問題点を解消するため、鉄道総合技術研究所 (以下「鉄道総研」という) では、PC を利用した運転曲線作成システムとして SPEEDY を平成 12 年度に開発、以後改良を重ね、今日では、新幹線版および在来線版 (運転保安設備別) のシステムを構築するに至っている。

運転曲線は、単に運転時分の計算のみならず、時隔 (列車と列車の間に最低限確保しなければならない時間) の算出および、線路上の設備や車両の性能等についての多面的な検討に大変有効な図表である。コンピュータ化により、運転曲線を容易に作成できることから、最近では設備改良工事費用とそれによって得られる時分短縮効果についての評

価・検討にも数多く活用されるなど、運転曲線作成の需要はこれまで以上に増加している。

また、鉄道建設・運輸施設整備支援機構（以下「鉄道・運輸機構」という）では、整備新幹線をはじめとした各種鉄道建設に携わっており、鉄道施設を整備する上で計画段階での運転時分の算出は大変重要な要素となる。これまで、職員自ら作成した運転曲線作成ソフトを用いたり、手書きで作成していたが、鉄道総研が開発した運転曲線作成システムを平成 12 年度に導入した。以後、鉄道総研に鉄道・運輸機構用にカスタマイズしたシステム構築を委託し、現在では在来線版・新幹線版ともに改良した最新の運転曲線作成システムを導入し、業務に活用している。

2. システムの概要

運転曲線作成システム SPEEDY（以下「SPEEDY」という）は、鉄道総研が在来線 ATS 版を開発し、既に多くの鉄道事業者に導入されているシステムである。鉄道・運輸機構から鉄道総研に対し、在来線 ATS 版のシステムをベースとした新幹線版、ATC 版、幹在直通版の開発の委託を行った。

SPEEDY は、保安方式により多少の差はあるものの、主要な構成は図 2 に示す通りである。鉄道総研にて開発した、性能曲線計算機能、運転曲線計算機能、運転時隔曲線計算機能の基本機能に加え、鉄道・運輸機構において新線建設に必要な機能として、電流・電力量計算機能、運転曲線分析図作成機能を備えている。本章では、各機能の概要について述べる。

〈2・1〉 性能曲線計算機能 性能曲線計算機能は、車両性能を表す引張り力曲線（力行時の速度と引張り力）、加速力曲線（力行時の速度と加速力）、速度距離曲線（力行時の距離と速度）、惰行曲線（惰行時の距離と速度）を計算し描画する機能である。

〈2・2〉 運転曲線計算機能 運転曲線計算機能は、引張り力およびブレーキ減速度、列車抵抗（出発・走行抵抗、曲線抵抗、勾配抵抗、トンネル抵抗）の関係から微小単位

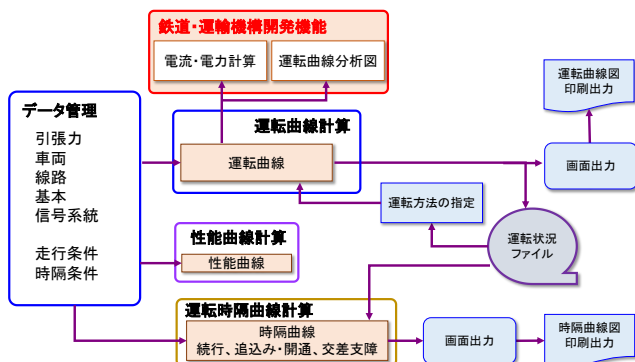


図2 運転曲線作成システム SPEEDY の構成

（SPEEDY では 10m または線形が変わる地点ごと）に、運動方程式を計算することにより運転曲線を作成する機能である。基本的には最速の運転曲線を作成するが、指定した地点から指定した距離分の運転方法（惰行、力行ノッチ、制動ノッチ、等速運転）や、指定した地点・速度とその地点までの運転方法を指定することにより、運転曲線を編集することができる機能を備えている。なお、SPEEDY では線路に関するデータを「軌道リンクモデル」というネットワークで管理しており、計算対象区間の始点から終点までのルートをネットワーク上の経路探索問題に置き換えることにより、主本線と副本線の線形が異なる場合等の複雑な線形に対応することが可能である⁽¹⁾。

〈2・3〉 時隔曲線計算機能 時隔曲線は、運転曲線の時間曲線を基に連続する 2 列車の後続列車が先行列車にどこまで近づけるか（時隔点）を求め、2 列車の時間と位置の関係を示した図である（図 3）。SPEEDY では、続行、追込・開通、平面交差の 3 種類の時隔曲線の計算が可能である。在来線 ATS の時隔点の求め方は文献⁽²⁾に記載の通りである。新幹線では ATC ブレーキパターン、ATC（在来線）では車上信号の信号段を考慮した計算方法になるが、基本的な考え方は ATS と同様である。

〈2・4〉 電流・電力量計算機能 運転曲線計算機能で計算した運転曲線を基に電流・電力量を計算する機能である。電力量は、引張り力から 1 秒間の仕事量から求めた電力を時間積分することにより求められ、電流は供給電圧と電力から求められる。なお、電流計算時には補機電力、供給電圧、電圧降下率、効率（機械的効率と電氣的効率の積）、最大電流をユーザが入力することで、電圧降下や損失を加味することが可能である。

本機能では、補機電力、供給電圧、電圧降下率、効率（機械的効率と電氣的効率の積）、最大電流については、電流・

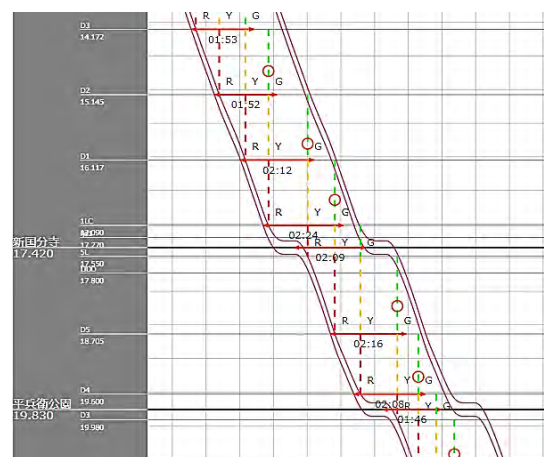


図3 SPEEDY で作成した続行時隔曲線

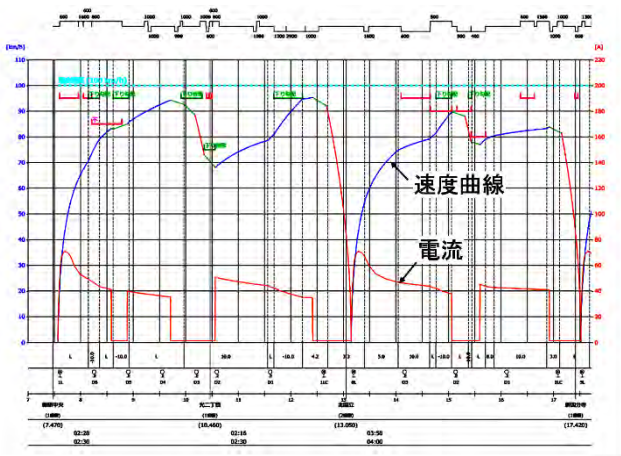


図4 電流計算結果の運転曲線上への描画

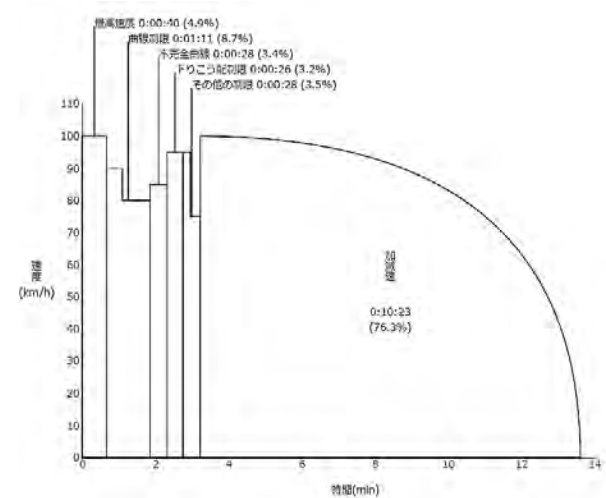


図5 SPEEDYで作成した運転曲線分析図

電力量計算時にユーザが入力することとした。なお、電流については、運転曲線上に描画可能としている(図4)。

〈2・5〉 運転曲線分析図作成機能 運転曲線分析図は、速度向上阻害要因分析線図ともいわれ、運転曲線計算結果をもとに、速度向上を阻害する速度制限や車両性能、線路条件の影響関係を図に示したものである(図5)。基本的には文献⁶⁾に記載の考え方としているが、ATC(在来線)においては、ATC信号に基づいて運転曲線が作成されるため、ATC信号速度段が割り振られている要因を線区・車両の最高速度、曲線、分岐器、下り勾配等から推定している。また、停止処理や一連の常用ブレーキの範囲、力行・惰行の変化点に応じて運転方法をATC信号に紐づけることにより、速度向上阻害要因を求める。

3. 鉄道・運輸機構のSPEEDY

鉄道・運輸機構では、新幹線版SPEEDY、在来線版SPEEDY(ATS版、ATC版)、新在直通運転版SPEEDYを使用しており、導入経緯と主な特徴および機能は以下の通りである。

〈3・1〉 新幹線版SPEEDY(平成13年度開発・平成28年度改良) 鉄道・運輸機構は整備新幹線の建設主体として、現在も北陸新幹線の金沢～敦賀間および北海道新幹線の新函館北斗～札幌間の建設を進めている。新幹線整備を検討する際に、運転曲線の作成は必須であるため、平成13年度に鉄道・運輸機構から鉄道総研に対し、デジタル方式ATCに対応した新幹線版SPEEDY開発を委託し、導入した。その後、運転曲線利用用途の多様化や、設備・車両の高度化に伴う機能向上及び最新Windows OSへの対応のため、平成28年度に、入力方法、データ管理機能を中心にシステム拡張を実施した。

前章でも述べた通り、電流・電力量計算といった鉄道・運輸機構独自の機能を付加することにより、変電所設備・電車

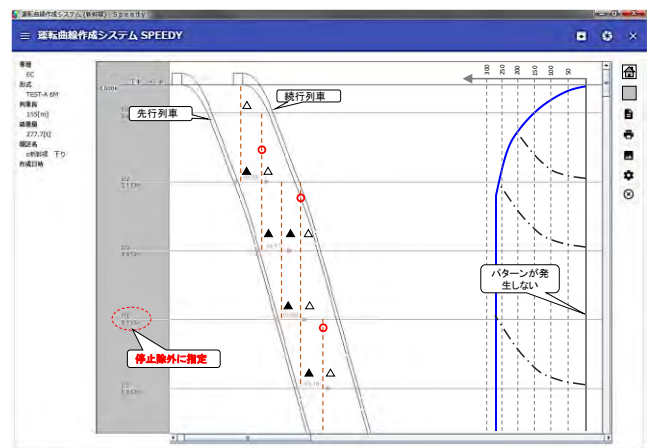


図6 停止除外に設定した区間を表示した時隔曲線

線設備検討にも活用している。また、新幹線の運転方法ではき電区分の境界には停止させないことが基本である。このため、き電区分の境界を含む軌道回路を停止除外と設定して時隔曲線を作成可能としている(図6)。これにより、設備検討段階から運転計画に見合った時隔曲線を作成することが可能である。

〈3・2〉 在来線版SPEEDY(ATS版)(平成12年度導入、平成20年度・29年度改良) 整備新幹線の開業に伴う並行在来線の設備検討に使用するため、鉄道総研で開発したSPEEDYを平成12年度に導入、以後保安装置にATSを用いた路線については、このSPEEDYを改良しながら幅広く活用することにより、調査や受託事業を実施している。具体的には、マニュアル運転に対応した運転曲線作成機能の開発等、機能の向上を随時行っている。また、新幹線版と同様に、平成29年度に計算機環境の変化に応じた機能向上として、データ管理機能の刷新等を行った。また、ATS区間における

軌道区間 名称	制動系	閉区	2段距離(L1)	その他距離	制動距離(L2)	制動距離(L3)	制動距離(L4)	制動距離合計
下行列車	制動系停止	OK	120.00	0.00	110.49	0.00	1.15	231.62
D12	130	OK	120.00	0.00	110.49	0.00	1.15	231.62
上行列車								
D11	22	OK	225.00	-434.00	22.62	0.00	1.12	582.74
	30	OK	120.00	0.00	121.74	0.41	0.60	252.94
下行列車								
D10	701	OK	120.00	0.00	110.49	0.00	1.15	231.62
上行列車								
D9	301	OK	165.00	81.00	152.15	0.41	0.60	400.25

図7 閉そく割り検討支援機能の出力結果(一部抜粋)

設備検討のため、SPEEDY の線路データに基づいた制動距離計算機能を鉄道・運輸機構独自の機能として導入している。

〈3・3〉 在来線版 SPEEDY (ATC 版) (平成 20 年度・21 年度開発・令和 2 年度・3 年度改良) 在来線の ATC は大別してデジタル ATC とアナログ ATC に分けられる。このうちデジタル ATC を平成 20 年度に、アナログ ATC を平成 21 年度に開発委託し、導入している。また、令和 3 年度にアナログ ATC 版 SPEEDY の改良を、鉄道総研に委託して導入した。なお、アナログ ATC には多段制御式と一段ブレーキ式の 2 種類が存在しており、それぞれの方式に対応できるシステムを構築している。構築した一段ブレーキ式 ATC 版 SPEEDY における特徴として、閉そく割りの検討を支援するための機能を付加した。この機能は、設定された線路データと信号系統データをもとに、各軌道回路の速度信号から停止すべき軌道回路内に停止できるかどうかを判定する機能である。多段制御式 ATC では、先行列車に後続列車が接近した場合に、速度信号下位現示速度区間に進入することで常用最大ブレーキを動作させ列車を減速・停止させているが、一段ブレーキ式の場合、各軌道回路の速度信号段ごとに停止すべき範囲内に停止するようブレーキ距離計算をする必要があり、この計算結果に基づいて閉そく割りを決定させる。この莫大な計算をパラメーターによりデータ入力することで軌道回路長計算の手間を軽減が可能である。なお、計算結果は Excel シート (図 7) に出力される。

〈3・4〉 新在直通運転版 SPEEDY (平成 29 年度開発)

運転保安装置が異なる路線については、それぞれの運転保安装置に対応した SPEEDY を用いて運転曲線を作成している。一方で、新幹線 ATC 区間と在来線 ATS 区間を直通運転する区間 (以下「新在直通運転区間」という) では、運転保安装置が異なるため現行の SPEEDY では 2 つ区間を跨ぐ運転曲線を一括で作成することができない。今後、新在直通運転区間に対する設備検討も予想されるため、これを解決する目的で平成 29 年度に新在直通運転版 SPEEDY を開発した。基本的には新幹線版 SPEEDY と在来線 ATS 版 SPEEDY の運転曲線作成機能を統合したものになっており、接続部分において、運転方式、列車制御方式、き電方式 (図 8) と

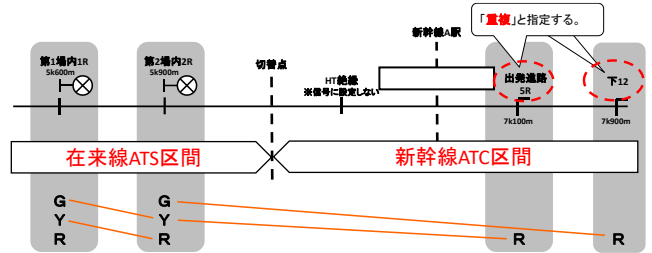


図8 信号データの設定例(在来線 ATS→新幹線 ATC)

いった違いを選択可能とすることにより、新在直通運転区間の運転曲線・時隔曲線 (続行時隔のみ) を作成することを可能とした。また、接続部分の機能選択項目に軌間可変区間も含まれており、軌間可変機能を有した検討路線においても運転曲線作成に対応可能なシステムとした。

4. まとめと今後の展開

鉄道・運輸機構で使用している運転曲線作成システム SPEEDY について、簡単に説明した。システムの開発から約 20 年が経過したが、現在も改良を重ねて、鉄道・運輸機構や多くの鉄道事業者で使用されている。

SPEEDY の今後の展開として、鉄道総研では閉そく割りに関する業務を支援する機能⁽⁴⁾の開発を目指しており、鉄道・運輸機構においても有用なものとなるよう、鉄道総研との意見交換を進めている。閉そく区間の算出については、地道な作業であるとともに運転関係従事者の経験によるところが多く、また閉そく距離および信号機配列は運転時隔に直結する重要な要素である。ダイヤ担当をはじめ、運転設備担当の技術継承に少しでも役立つことができるよう機能向上を目指していく所存である。

鉄道・運輸機構と鉄道総研は連携して、システム構築を進めるとともに、引き続き鉄道・運輸機構の新線建設、計画路線、調査路線において、運転曲線作成システムを使用することにより、他部門に活用可能な精度の高いデータ算出に役立てることとしたい。

文 献

- (1) 熊澤一将、田中峻一ら:「軌道リンクモデルを用いた運転曲線作成システムの再構築」, 鉄道サイバネ・シンポジウム論文集 Vol.53 (2016)
- (2) 熊澤一将:「自動閉そく区間における運転時分と運転時隔の変動に関する検討」, 第 23 回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2016), pp.595-598 (2016)
- (3) 運転理論研究会:「運転理論 (再改訂版)」, 日本鉄道運転協会 (2011)
- (4) 熊澤一将、田中峻一、北野隆康:「運転曲線作成システム SPEEDY を活用した閉そく割り検討支援システムの開発」, 運転協会誌, Vol.64, No.1 pp.13-17 (2022)