総合鉄道線形計画支援システムの開発

小林 三昭¹・堀井 裕信²

¹正会員 ジェイアール東日本コンサルタンツ株式会社 (〒151-0053 東京都渋谷区代々木2-2-6)

E-mail: m-kobayashi@jrc.jregroup.ne.jp

²正会員 株式会社エムティシー (〒475-0922 愛知県半田市昭和町1-35)

E-mail: horii@mtc-aps.co.jp

鉄道線形は、鉄道における車両走行性、列車速度、運転時分などに大きな影響を与える。今回、線形座標計算プログラム、CAD（作図）と3次元シミュレーション技術を組み合わせることで、ある程度の鉄道線形知識を有すれば、視覚的に線形計画が可能となる総合鉄道線形計画支援システムを開発した。

本システムは、総合的な鉄道設計支援システムとして、平面設計（平面線形計算、分岐器配置）、縦断設計（縦断線形計算）、鉄道断面検討に必要な横断面設計、建築限界等支障チェック及び構造計画を3次元空間にて行うことができる。これにより、座標計算プログラムによる精度の高い座標計算結果を基に、画面上でのシミュレーションが容易となり、高品質の鉄道線形計画が効率的に作業できるようになった。

Key Words : railway, linear plan, track layout, CAD, GIS, DB

1. はじめに

鉄道線形は、鉄道における車両走行性、列車速度、運転時分などに大きな影響を与えるため、鉄道創始以来、鉄道曲線理論が体系化され日本国有鉄道（国鉄）時代より JR 時代へ移行し規程類も新しいものに変化してきた。昭和の時代には、新線開発や新幹線整備、在来線の高速化などのため、複雑な曲線から単純な直線化の流れが進み、その計算手法もほぼ確立されてきた。

これが国鉄民営化されるころから、国内では整備新幹線以外の新線計画はほとんど姿を消し、代わりに在来線の駅改良が中心となり、地理的制約のあるなかで線路の方向を変える、分岐器の位置を変更するなど鉄道線形の多様化、高度化が求められるようになった。こういった鉄道の調査計画段階におけるこれら線形計画業務は、その配線の良否が直接列車の運行効率等に大きく影響する重要な業務である。

一方、国鉄時代、「線形屋」とも呼ばれた鉄道線形計画の職人ともいえる専門の技術者に支えられてきた鉄道線形技術も、線形屋の高齢化、退職とともにその姿を消し、鉄道系設計コンサルタント業界に一部技術継承できているに過ぎない。併せて、従来の鉄道線形（曲線）の座標計算手法¹⁾は、手計算の時代から汎用コンピュータを経てパソコンに至っても大きな変化はなく、従来の曲線理論に基づく線形座標計算プログラム（FORTRAN 言

語等）に頼ってきた。

そこで、鉄道線形座標計算プログラムと CAD（作図）、3次元シミュレーション技術を組み合わせることで、ある程度の鉄道線形知識を有すれば、視覚的に線形計画が可能となる総合鉄道線形計画支援システム「APS-Railway」（以下、本システムとする）を開発した。これにより、鉄道線形座標計算とともに分岐器の配置、3次元の建築限界計算など鉄道設計の総合的な線形計画を支援することが可能となった。

本システムにより、CADによる作図作業と座標確定計算が統一され、同一システム上で利用できる環境を設計者に提供することで、従来の鉄道線形計画作業時に発生していた手戻りを、画面上でリアルタイムにチェックしながら作業できることとなり、設計時の負担を軽減することができるようになった。

2. 適用範囲

日本の鉄道の技術基準は、2001(平成 13)年 12 月に従来の“仕様規定”から“性能規定”へと新しい法令「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」（国土交通省令）が公布され、2002（平成 14）年 3 月 31 日から施行されている。これに伴い今までの法令や社内規程は廃止され、技術基準の具体的な数値や仕様は、鉄道事業者が省

令に適合する範囲内で「実施基準」を作成し、遵守することとなった²⁾。このため、鉄道各社は従来の基準をベースに、規制緩和により実現可能となった新技術を取り込むなど全面的に見直された³⁾。

これに伴い、本システムにおいても、JRほか地下鉄、私鉄各社の仕様をほぼ網羅し、更に日本が行う海外鉄道事業展開にも適用可能とした。

3. 鉄道線形計画業務

(1) 鉄道線形計画業務とは

鉄道線形計画業務とは、停車場の配線に限らず駅と駅の間部も含めた平面形状を現したものと、これに縦断形状、横断形状を含めた設計が必要であり、3次元的要求の高い業務である。

実際には地形・地物の制約を考慮した上で、各種線群を効率よく結ぶと同時に、旅客輸送におけるプラットフォーム等の駅設備と調和を図るものである。鉄道線形計画業務を、目的別に分類したものを図-1に示す。

(2) 鉄道線形計画業務の流れ

鉄道線形計画業務の作業の流れを図-2に示し、その概要を以下に述べる。

a) 現状調査

現状調査では地理的条件や線形緒元の把握のほか、列車の運行計画や将来の輸送需要の想定が行われる。

b) 配線構想

配線構想を通じて想定される列車運用と輸送需要に最も効率的な計画を策定する。

図-1 目的別分類

表-1 緩和曲線種別

緩和曲線	適用
3次放物線	普通鉄道（JR、私鉄各社）
Sine 通減曲線	新幹線
クロソイド曲線	地下鉄、新交通システム、道路

c) 線形計画

配線構想を基に規程上の制約条件を満足させる平面、縦横断線形を検討（座標確定計算、計画平面図の作成、縦断・横断図の作成、構造計画）する。この線形計画時で制約条件を満足できない場合、b) 配線構想に戻り再度検討することとなる。

d) 施工計画

現状と完成系線形計画に基づき、施工手順、各段階での線路切換等を検討（切換平面図の作成）する。鉄道断面を含める3次元のチェックをし、最終線形の総合的な判断を行う。

e) 資料作成

線形計画、施工計画に基づく数量計算、工事費算出、図面・資料を整理し企画書としてまとめる。

4. 鉄道線形の特徴

鉄道の平面線形は、直線、円曲線、緩和曲線及び分岐器等の線形要素で構成される。特に緩和曲線は車両の安全な走行性及び快適な乗り心地を確保する上で重要な要素である。一般的に緩和曲線として、普通鉄道には「3次放物線」、新幹線には「Sine通減曲線」、地下鉄・新交通システムには「クロソイド曲線」が用いられる。このため、本システムにおいても、全ての緩和曲線に適用可能とした（表-1）。

図-2 線形計画業務の流れ

5. システムの概要

本システムは、総合的な鉄道線形計画支援のシステムとして、平面設計（平面線形計算、分岐器配置）、縦断設計（縦断線形計算）、鉄道断面検討に必要な横断設計、建築限界等支障チェック及び構造計画を3次元空間にて行うことができる。以下に、その概要を述べる。

(1) 平面設計

a) 平面線形の再現

平面線形は、新線計画以外では現況線路平面図をベースに線形計画が行われるため、現況線路平面図をCADデータやラスターデータ、更に測量データから読み込み、汎用CAD的に線形の再現・検討を行えるようにした（図-3）。

主な機能を、下記に示す。

- 設計精度を維持しながら汎用 CAD の操作性で線形検討を行える。
- 曲線は単曲線、複合曲線、複心曲線、反向緩和曲線に対応する。
- 平面現況図（データフォーマット：DXF/SXF/TIFF

図-3 平面線形の検討例

／BMP)を背景に参照し、図形点を引用できる。

また、従来の線形座標計算プログラムでは、存在しなかった分岐器を取り扱えるようにしたことで、駅部、車両基地など総合的な鉄道線形計画が可能となった（図-4）。

なお、多種多様な分岐器に対応でき、かつ任意の分岐器を追加できるようにしたことにより、日本国内ばかりでなく海外鉄道線における線形計画業務にも利用可能である。

分岐器関連の主な機能を、下記に示す。

- 形式と番数を選択し、線形上に任意に配置できる。
- 配置後の番数変更・移動・削除が行える。
- 線形に分岐器の座標・方向角を参照できる。
- 任意の分岐器を追加できる。

b) 平面線形の再現

鉄道線形の検討手法には、「IP法」（IP座標を結ぶ直線を固定し、曲線をすり付ける手法）が多く利用され、本システムでもIP法を使用することも可能としている。しかし、在来線の改良、特に駅構内などで制約条件が厳しい場合、IP法ではトライアルが煩雑となる場合が多い。

本システムでは独自に通過要件を計算条件として取り

図-5 IP法とエレメント固定法

図-4 分岐器の配置機能

図-6 駅構内の配線変更例

扱うことができる新しい「エレメント固定法」を実装し、線形検討の自由度を大幅に向上させた。

エレメント固定法とは、エレメント（線形上の円または直線）の通過点を固定し計算する手法である。IP法と比較して、円の通過点を指定して計算が行えるので、駅構内の配線変更などで通過要件が厳しい場合に効果的である（図-5）。

例えば、図-6に示すような駅構内での配線変更を行う場合、IP法では複数回のトライアルが必要であるが、エレメント固定法ではトライアルは不要となる。

c) 平面線形計画の検証

平面線形計画時には、現況地物・施設等との離隔、他線形との線間等を考慮しなければならず、本システムではこれを線形検討と同時に並行に検証可能としている。検証作業は、汎用CADによる各作画情報での検証とは異なり、作図内容を手順で記録することで、線形要素の変更・修正に連動して正確な座標計算結果に基づき、何通りもトライアルが可能となる（図-7）。

図-7 平面線形計画の検証例

本システムで検討・計画された線形は、汎用 CAD とのデータ互換性を保ち、鉄道線路平面図の図面様式で平面線形、キロ程、矢羽、旗上げ、半径、IP 座標、分岐器等を作図可能である（図-8）。作図情報は汎用 CAD 情報でも保持でき、データフォーマット、レイヤー名等をカスタマイズできる。

(2) 縦断設計

鉄道縦断線形を入力（こう配単位は‰：パーミリ）し、レール面・施工基面高等を考慮しながら検討を行うことができる（図-9）。

主な機能を、下記に示す。

- こう配は‰表示、％表示から選択できる。
- 縦曲線形式は鉄道、道路から選択できる。
- コントロールポイント及び交差道路との高低差を確認できる。
- 平面・縦断線形・現況地盤線と図面様式とを選択するだけで縦断図が作成できる。

図-9 縦断線形の検討例

図-8 汎用CADでの利用例

図-10 鉄道断面の検討例

○縦断面図様式, 帯数, 数値桁数等をカスタマイズできる.

(3) 横断設計

横断(鉄道断面)は, 建築限界, カント(軌道曲線部における内外レール面の高低差)・スラック(軌道曲線部における内外レール幅の拡大幅)の拡大・逡減, プラットホーム形状の設定・検討, 断面図の作成を行うことができる.

主な機能を, 下記に示す.

a) 建築限界

- 普通鉄道(直流/交流電化区間)に対応(図-10).
- 建築限界寸法をカスタマイズできる.
- プラットホーム部は建築限界を変更できる.

b) カント・スラックの拡大・逡減

- カント, スラックを入力し, 拡大量を計算できる.
- 逡減長は任意に変更できる.
- 直線逡減, 曲線逡減に対応.

c) プラットホーム形状

- ホーム形状(単式, 島式)に対応.
- ホームの高さ, 幅, 勾配を計算できる.

d) 断面図

- キロ程と交角により任意位置の断面図を作成できる(図-11).

図-11 断面図の作成例

図-12 建築限界3次元モデル

○カント等を反映した建築限界を出力できる.

○コントロールポイントとの離隔を出力できる.

(4) 座標計算書の作成

各種計算機能により, 設計図書に収録する座標計算書を作成できる.

主な機能を, 下記に示す.

a) 成果出力

- 主要点成果(主要点座標, IP座標)
- 曲線諸元計算書
- 平面・縦断中間点

b) 各種座標計算

- 離れ計算
- 巾杭計算, コントロールポイント離れ計算
- 測心換算キロ程計算, 正矢計算
- 軌道中心間隔計算

(5) 建築限界支障チェック

平面線形・縦断線形・鉄道断面から3次元モデルを作成し, 現場施設と鉄道建築(車両)限界との干渉状況を確認することができる. 作業手順は, 以下のとおりとした.

a) 現況施設登録

現況線路平面図をグループ化して, 施設名を登録し, 図形種別(点, 線分, ポリライン, 3次元ソリッド図形, ポリゴンメッシュ)を登録可能とした.

また, 現況施設の3次元レーザースキャナで測定した点群を活用できる.

b) 3次元モデル作成

平面線形・縦断線形及び鉄道断面設定からカント・拡大・てい減を反映した建築限界の3次元モデルを作成できる.

また, プラットホーム形状設定からプラットホーム作

図-13 建築限界支障チェック

成できる(図-12)。

c) 建築限界支障チェック

建築限界内に干渉する現況施設を計算し、レイヤーと図形色を変更し、抽出する(図-13)。

d) 支障箇所断面確認

建築限界、現況施設及びプラットホーム形状を表示し、支障箇所を断面図形式で確認できる。

また、現況施設に登録したCAD図形を動画に表示でき、支障箇所で一時的に停止し干渉状況を動画で確認できる(図-14)。

(6) 構造計画

3次元地形モデルと鉄道線形3次元モデルとを組合せることで、土工(盛土・切土)、高架橋、橋梁区間の検討、土工量の算出等構造計画を行うことができる。計算結果は3次元ビューワーソフトで確認することができる(図-15)。

3. おわりに

国鉄時代、線路平面図(1/2500)や停車場平面図(1/500)のマイラー原図から陽画焼付(青焼)された図面を長尺のテーブルの上に広げ、1mの直線定規と大きなカーブ定規を用意し、色鉛筆を舐めながら現況平面図の上に新しい線形を何度も書き直していた当時の「線形屋」は、今はいない。

時代はJRになり、線路平面図等はデジタル化されたものの、小さなディスプレイ上での表示では、どうしても延長の長い鉄道線形は思うように計画・設計できず、プロッターから出力された長尺図面に手書きで線形を書き入れ作業するのが関の山であった。

出力結果も正確に計算された座標計算結果リストを眺

め、最終的にCAD上で疑似曲線として再入力したものを最終成果としてきたに過ぎない。

これらの状況は、本システムの登場で一変し、座標計算プログラムによる精度の高い座標計算結果を基に、画面上でのシミュレーションが容易となり、高品質の鉄道線形計画が効率的に作業できるようになった。

本システムの前段では、線形検討に必要な規程類をデータベース化し、ある程度自動計算可能なCADシステムを開発し若手鉄道技術者が利用した経緯もあった。しかし、自動設計ではかえって鉄道線形計算やその計算の根拠がブラックボックスとなり、本当の意味で鉄道線形技術を引き継ぐことができなかった。

この経験から、本システムでは、あえて鉄道線形計算に必要な規定やルールとのチェック機能は盛り込まず、代わりに高精度な座標計算を容易に使用できるものとし、その検討結果は、技術者が規定やルールと照らし合わせ判断しなければならないものとしている。これにより、鉄道線形技術の本当の意味の技術継承が可能となる。

鉄道線形は、列車速度、運行ダイヤ時分、列車の乗り心地まで影響する鉄道事業の基本技術である。このような技術が本システムの登場で今後もより発展、進化していくことを期待する。

参考文献

- 1) 神谷進：鉄道曲線(第10版)、株式会社交友社、1992。
- 2) 社団法人鉄道施設協会：解説 鉄道に関する技術基準(土木編)、2002。
- 3) 東日本旅客鉄道株式会社設備部・建設工事部：鉄道施設計画の手引き、2005。
- 4) Hiroshi Nishikawa, Mitsuki Kobayashi : RAILWAY TRACK LAYOUT SUPPORTING SYSTEM, 6TH World Conference on Transport Research, 1992。

(2011.10.17 受付)

図-14 確認動画画面

図-15 構造計画の利用

DEVELOPMENT OF INTEGRATED RAILWAY LINEAR PLAN SUPPORT SYSTEM

Mitsuaki KOBAYASHI, Hironobu HORII

A rail alignment has a great effect on travelling performance, speed, and time. We have developed a total system of rail alignment planning powered by a coordinate calculation program of line shapes, CAD, 3D simulation technology, which makes it possible to plan rail tracks by a graphical user interface for the people who possess a certain level of knowledge about a rail alignment. This system has functions of 2D design (plane line shape calculation, layout of turnouts), longitudinal section profile design (vertical line shape calculation), and cross section profile design of rail tracks. It also enables to check the rail track construction gauge and plan a rail track structure in a 3D view. These functions facilitated a simulation with accurate coordinate calculation results and made high-quality rail alignment planning effective.