

(12) 総合鉄道線形計画支援システムの開発

Development of integrated railway linear plan support system

小林 三昭¹・堀井 裕信²

Kobayashi Mitsuaki and Horii Hironobu

抄録：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）と三次元シミュレーション技術を組み合わせること、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、平面设计（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三次元空間に行うことができる。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。

キーワード： 鉄道、線形、配線、CAD、GIS、DB

Keywords : 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、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、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。

一方、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）、三次元シミュレーション技術を組み合わせること、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。鉄道線形座標計算とともに分岐器の配置、三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。これにより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、従来トライアル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、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、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

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、三次元的要素の高い業務である。

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。

また、鉄道線形計画業務の作業の流れを図—2に示す。

1：正会員 ジェイアール東日本コンサルタンツ(株) ICT 事業本部

(〒151-0053 東京都渋谷区代々木 2-2-6 , Tel :03-3373-6007 , E-mail : m-kobayashi@jrc.jregroup.ne.jp)

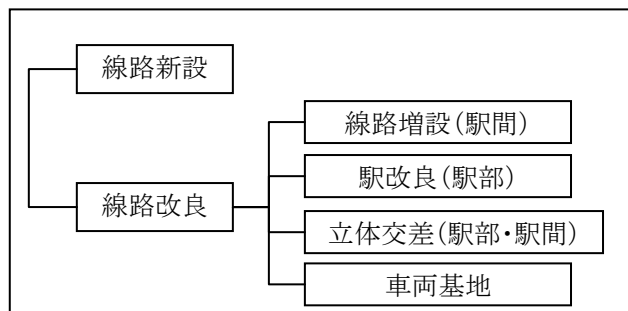
2：非会員 (株)エムティシー(〒475-0922 愛知県半田市昭和町 1-35 , Tel :0569-26-5720 , E-mail : horii@mtc-aps.co.jp)

4. 鉄道線形の特徴

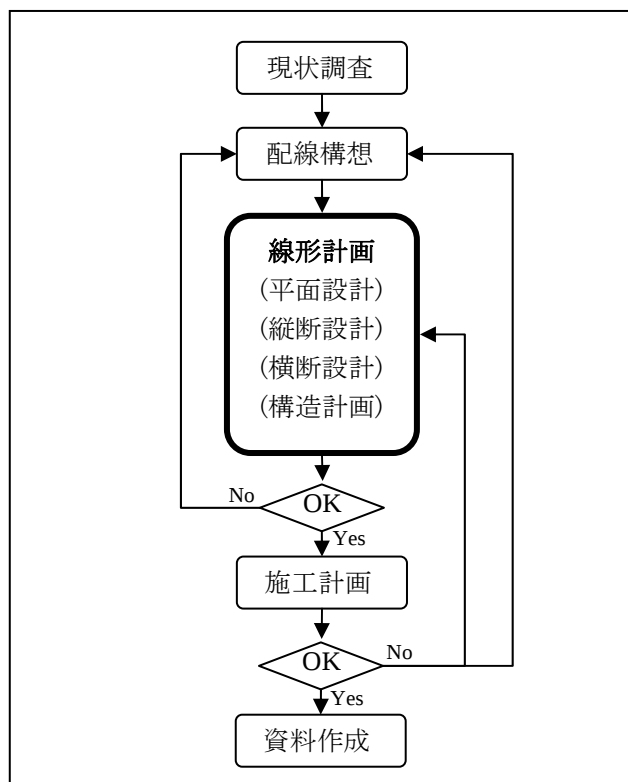
鉄道の平面線形は、直線、円曲線、緩和曲線及び分岐器等の線形要素で構成される。特に緩和曲線は車両の安全な走行性及び快適な乗り心地を確保する上で重要な要素である。一般的に緩和曲線として、普通鉄道には「三次放物線」、新幹線には「Sine 逓減曲線」、地下鉄・新交通システムには「クロソイド曲線」が用いられる。このため、本システムにおいても、全ての緩和曲線に適用可能とした（表—1）。

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三次元空間にて行うことができる。



図—1 目的別分類



図—2 線形計画業務の流れ

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）。また、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。

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。

b) 平面線形の検討手法

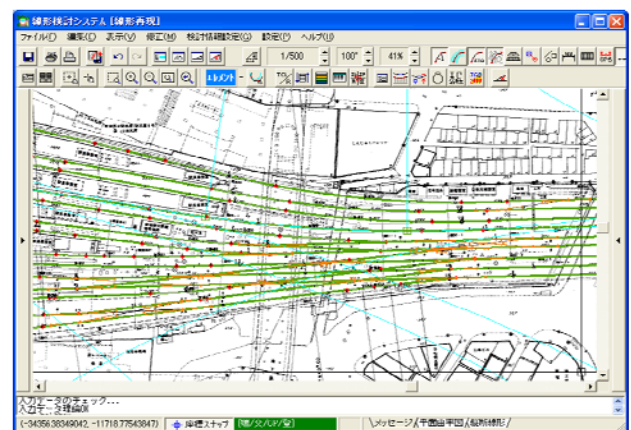
鉄道線形の検討手法には、「IP法」（IP座標を結ぶ直線を固定し、曲線をすり付ける手法）が多く利用され、本システムでもIP法を使用することも可能としている。しかし、在来線の改良、特に駅構内などで制約条件が厳しい場合、IP法ではトライアルが煩雑となる場合が多い。

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—4）。

表—1 緩和曲線種別

緩和曲線	適用
三次放物線	普通鉄道(JR, 私鉄各社)
Sine 逓減曲線	新幹線
クロソイド曲線	地下鉄, 新交通システム, 道路



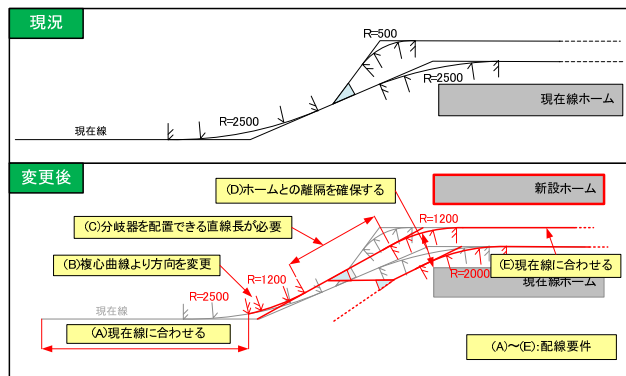
図—3 平面線形の検討例

c) 平面線形計画の検証

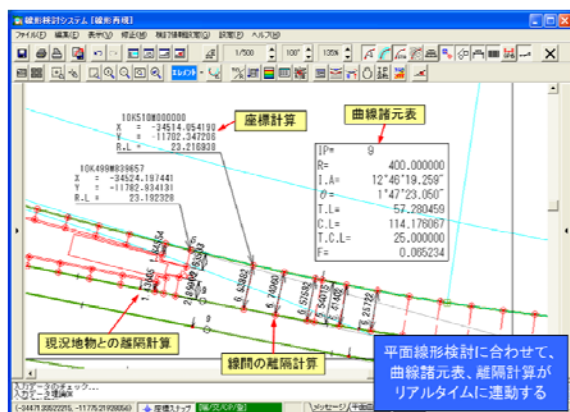
平面線形計画時には、現況地物・施設等との離隔、他線形との線間等を考慮しなければならず、本システムではこれを線形検討と同時並行に検証可能としている。検証作業は、汎用CADによる各作画情報での検証とは異なり、作図内容を手順で記録することで、線形要素の変更・修正に連動して正確な座標結果に基づき、トライアルが可能となる（図—5）。

d) 平面図の作成

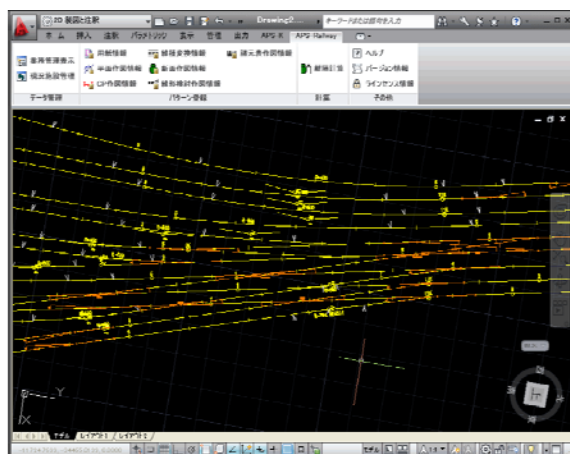
本システムで検討・計画された線形は、汎用CADとのデータ互換性を保ち、鉄道線路平面図の図面様式で平面線形、キロ程、矢羽、旗上げ、半径、IP座標、分歧器等を作図可能である（図—6）。



図—4 駅構内の配線変更例



図—5 平面線形計画の検証例



図—6 汎用CADでの利用

(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—7）。

(3) 横断設計

横断（鉄道断面）は、建築限界（直流/交流電化区間に対応）、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・通減、プラットホーム形状（単式、島式）の設定・検討、断面図（図—8）の作成を行うことができる。

(4) 建築限界等支障チェック

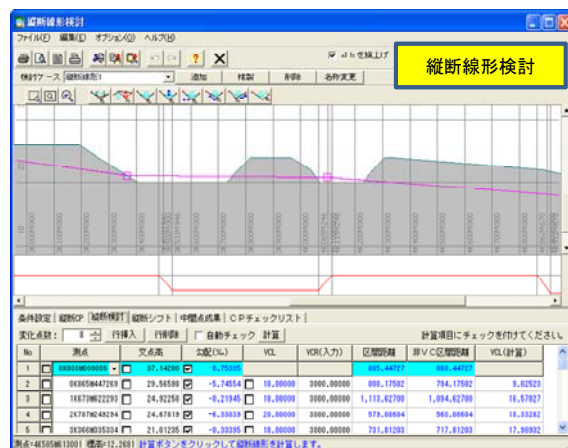
平面線形・縦断線形・鉄道断面から三次元モデルを作成し、現場施設と鉄道建築（車両）限界との干渉状況を確認することができる。作業手順は、以下のとおりとした。

a) 現況施設登録

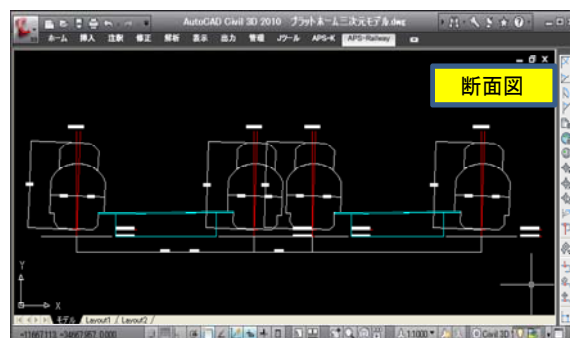
現況線路平面図をグループ化して、施設名を登録し、図形種別（点、線分、ポリライン、三次元ソリッド図形、ポリゴンメッシュ）を登録可能とした。また、現況施設の三次元レーザースキャナで測定した点群を活用できる。

b) 三次元モデル作成

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三次元モデルを作成できる（図—9）。



図—7 縦断線形の検討例



図—8 断面の作図例

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-10)。

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、干渉状況を動画で確認できる(図-11)。

(5) 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-12)。

6. 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面焼付(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。

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)交友社、1992年7月。
- 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年3月。
- 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年5月。
- 4) Hiroshi Nishikawa, Mitsuaki Kobayashi : RAILWAY TRACK LAYOUT SUPPORTING SYSTEM, 6TH World Conference on Transport Research, 1992.

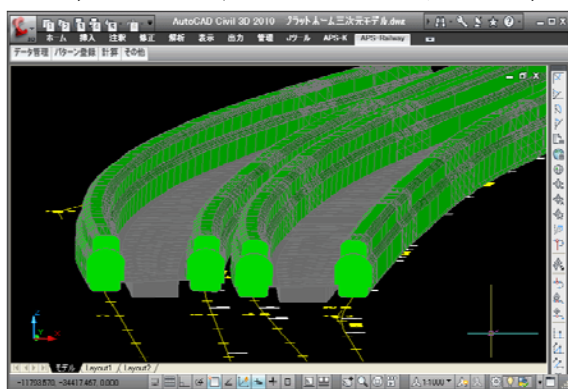


図-9 建築限界三次元モデル

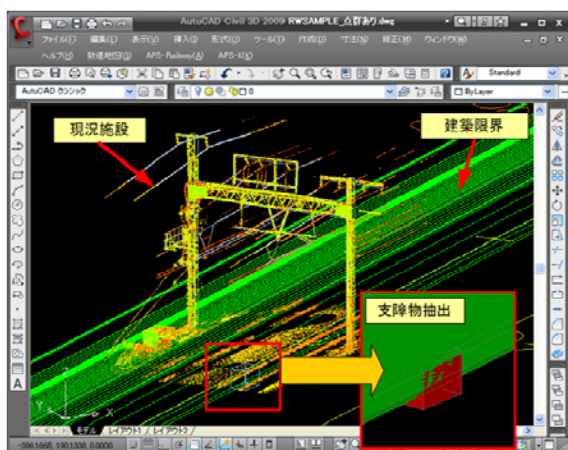


図-10 建築限界支障チェック

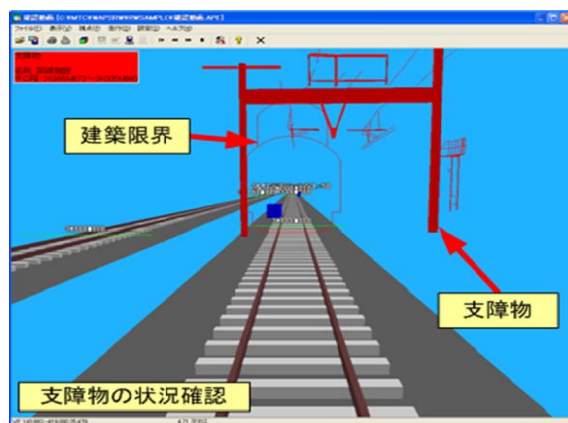


図-11 確認動画画面



図-12 構造計画の利用