

列車制御に適用可能な地理空間情報基盤の開発

山本 春生*

Railway Fundamental Geospatial Data for National Spatial Data Infrastructure Applicable to Train Control

Haruo YAMAMOTO

In order to cope with the advancement and intelligentization of train control, the draft specification of the Railway Fundamental Geospatial Data for National Spatial Data Infrastructure, which conforms to Japanese Standards for Geographic Information and can replace distance indication by kilometers based on the three-dimensional absolute position coordinate (latitude, longitude and altitude), was studied; the test line in Railway Technical Research Institute was surveyed, the data based on this draft specification was created, the experiment to find out appropriateness of the draft specification when applied to some practical cases were conducted, and the Railway Fundamental Geospatial Data Product Specification was established.

キーワード：鉄道基盤データ，三次元，絶対位置座標，地理空間情報，地理情報標準，列車制御

1. はじめに

列車制御の高度化，インテリジェント化に対応するため，キロ程に替わり三次元の絶対位置座標による位置情報管理が可能な地理空間情報基盤の仕様案を検討し，これを鉄道基盤データと命名した。本仕様案は，地理情報標準に準拠し，位置表現に緯度，経度，標高を用いるが，付属情報としてキロ程も併用しており，各系統の設備台帳，防災マップ，経営資源情報等を一括して取り扱う統合GIS（Geographic Information System）の基盤データに成り得るものである。鉄道総研国立研究所の所内試験線の測量を実施し，本仕様に基づくデータを作成して，複数のアプリケーションによる利用実験を行ったうえで，「鉄道基盤データ製品仕様書」を取り纏めた。本論文では，鉄道基盤データの概要について述べる。

2. 開発の背景

鉄道システムの地理空間情報基盤について，以下のようないずれかのニーズがあると考えられる。

(1) 線路延長方向の距離誤差の少ない位置指標の必要性
線路上の位置は，線区名（上下線の識別を含む），キロ程および番線により特定できるが，この位置識別法は，列車の移動が本質的に一次元であることから成り立つ。しかし，線路上で距離計測を行う場合，例えば駅構内で本線以外を経由するとキロ程上の距離との差異が生じるなど，キロ程は正確な距離を測るための指標にはなり難

い。また，路線建設後の迂回，短絡工事により，キロ程の断重複の発生が避けられないという問題もある。今後，鉄道システムの高度化，インテリジェント化に伴い，車上で走行距離を計測するシステムが増加するものと予想されるため，線区名，キロ程，番線によらない新たな位置の指標を構築することが望まれる。

(2) 線路断面方向の位置指標の必要性

システムの高度化，インテリジェント化に伴って，線路断面方向の位置が必要になることも考えられる。例えば，線路内作業における衝突，触車事故の根絶を目標に掲げた防護システム¹⁾では，GPS測位等による作業員位置情報に基づいてシステムが待避状況を判別するため，システムが備える線路配線情報には，線路横断方向に数十cmの絶対位置精度が求められた。この要件を満たすには情報取得コスト増が避けられないため，メンテナンス業務を含め，この品質要件によりメリットが得られる多くのアプリケーション間で共用できるようにして，システム当たりの情報取得コストを低減することが望まれる。また，高精度で共用性の高いデータが整備されれば，様々な分野でシステムの高度化，インテリジェント化が促進されることも予想され，システム当たりの情報取得コストのさらなる低減が期待できる。

(3) 設備情報の実設備との一致性確保

高密度線区の時隔短縮等を図るため，車上装置に路線情報を予め記憶させ，在線位置を検知しながら速度制御を行う列車制御システムの導入が進められている。将来の列車制御システムでは，さらなる保安度向上のため，例えば風規制，雪崩・落石検知などと連動した速度制御を行うことも考えられるが，そのための仕組みとして関

* 信号通信技術研究部（列車制御）

特集：信号通信技術

連する設備情報が車上に予め記憶されるものと想定される。このような仕組みに基づく制御では、システムが把握する設備情報の誤りにより事故が誘発される恐れがあることから、実設備との一致性確保が不可欠である。列車制御用途の設備情報に対する要求として、データの完全性、検査可能性、および工事に伴う線路配線・設備の追加・変更・削除との整合性の実現が望まれる。

3. 鉄道基盤データの概念

前章の必要性に鑑み、キロ程に替わり三次元の絶対位置座標による位置情報管理が可能な地理空間情報基盤の仕様案を検討し、これを鉄道基盤データと命名した。

図1に鉄道基盤データの概念を示す。鉄道基盤データは、鉄道システム固有の空間的・時間的なデータである。各アプリケーションは、鉄道基盤データとアプリケーション固有のデータを組み合わせ、さまざまな情報の見方(ビュー)を実現することによりサービスを達成する。また、工事等に伴うデータ更新のし易さや、道路や河川等他の国土管理情報の利用、外部へのデータ提供等が可能なように考慮する。

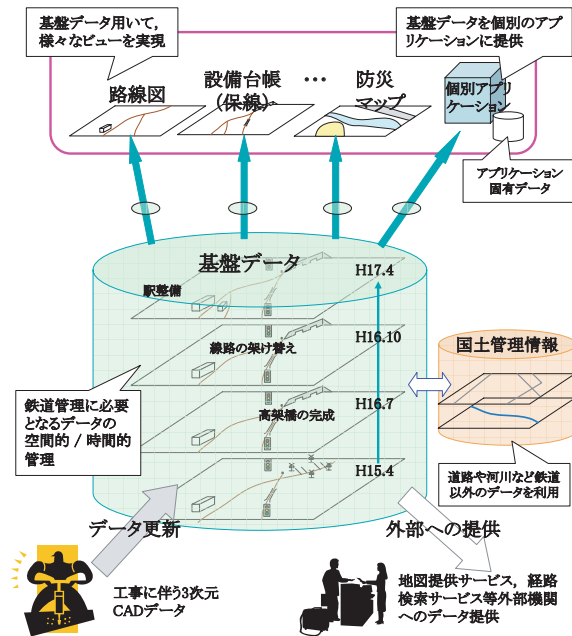


図1 鉄道基盤データの概念

4. 仕様の検討手順

図2に示す手順に従い、鉄道基盤データの仕様案を検討した。

4.1 仕様等の作成

4.1.1 サービス定義

ここでは、鉄道基盤データにより実現したいサービス

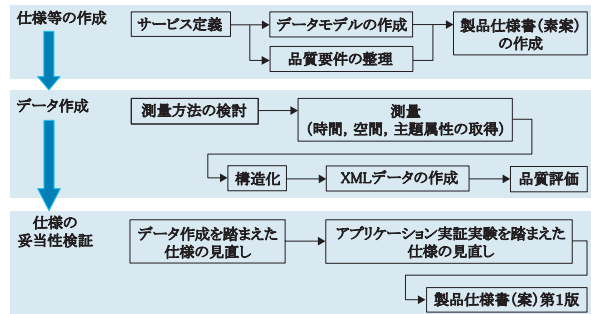


図2 鉄道基盤データ仕様の検討手順

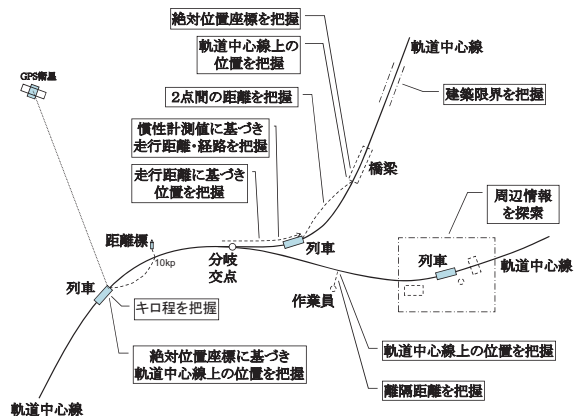


図3 鉄道基盤データによる主なサービス

の範囲を定め、必要となる情報を整理する。アプリケーションとして、2章で述べた鉄道システムの高度化、インテリジェント化を想定し、前記防護システムにおける諸機能をはじめとして、これと統合されるであろう将来の列車制御システム、運行管理システム、さらに設備管理システム等に利用されるものとした。これらのアプリケーション毎に、目的、利用対象、必要な機能・情報を整理した調査シートを作成し、その結果を踏まえ、機能イメージをサービスの種類で分類した一覧表として取り纏めた。図3に鉄道基盤データを利用することによって実現したい主なサービスを示す。さらに、必要な情報項目を抽出し、特に鉄道施設について、項目毎に、属性、型、定義を記載した一覧表として取り纏めた。

4.1.2 データモデルの作成

(1) データ構造の検討

サービスを実現するために必要となるデータは、以下の3つに分類される。

- ・線路や構造物などの施設データ
- ・列車などの移動体データ
- ・運行ダイヤや信号制御論理などのデータ

これらのうち、「線路や構造物などの施設データ」を、サービスを提供するための基礎となるデータ、即ち鉄道基盤データとして位置付けた。各サービスを実現するため、想定したアプリケーションにおける利用の仕方とデータ更新のし易さに配慮し、データ構造の検討を行う。検討方法について簡単に説明する。例えば、アプリ

ケーションにおいて「列車の位置をキロ程で把握する」というサービスを実現しようとする場合、データ構造として軌道中心線にキロ程情報を直接埋め込む方法と、軌道中心線と距離標の位置から軌道中心線上のキロ程を間接的に求める方法、の2つが考えられる。しかし前者では、距離標の位置データがないために「距離標の位置を把握する」という別のサービスを実現することができない。また、データ更新のし易さの観点からは、複数の個別的情報の一体化は避けた方が望ましい。以上のような検討に基づいて、様々なアプリケーションがサービスを実現でき、かつデータ更新が容易な構成を定めた。

(2) UML クラス図の作成

次にデータ構造を定義する。国内における地理情報の標準規格は、空間や時間を定義する標準スキーマに UML (Unified Modeling Language) クラス図を用いているため、データ間の関係などのデータ構造を示す応用スキーマの記述にも UML クラス図を用いた。また、地理情報標準で規定されている「時間スキーマ」および「空間スキーマ」から必要なものと、記述方法を定める参照系をそれぞれプロファイルとして取り出し、参照することとした。以下、鉄道基盤データの構造について詳細に述べる。

地理情報をデータとして作成・管理するためには、データとデータ集合という概念が必要となる。例えば、個々の軌道中心線や分岐交点のデータを一つのセットとして取り扱う場合などに必要となる。そこで「鉄道基盤データ」パッケージ内に、「鉄道基盤データ地物集合」パッケージおよび「鉄道基盤データ地物」パッケージを定義した。なお、「地物」とは、地理情報標準において「実世界の現象の抽象概念」と定義されており、実世界に存在するものの名称を示す。

「鉄道基盤データ地物集合」パッケージには、「鉄道基盤データ地物集合」をクラスとして定義する。鉄道基盤データ地物集合は、鉄道基盤データ地物の集まりとして表現されるが、これに時間および空間参照系を記述することとした。「鉄道基盤データ地物」パッケージには、鉄道基盤データとして必要な地物を定義する。「鉄道基盤データ地物」には、時間管理を行うため地物が存在する期間として「データ有効期間」を属性として定義した。また、実測やマップデジタイズ、竣工データ等様々な方法で今後データが作成されることを想定し、「データ作成方法」を属性として定義した。

「鉄道基盤データ地物」パッケージには、その種類に応じて地物を定義するための8つのパッケージ(鉄道線路、線路構造物、線路付属物、停車場、電車線路、信号保安設備、通信設備、電力設備)を定義した。この8つのパッケージは、データ管理や更新のし易さを考慮し、鉄道の管理体制にほぼ対応させたものである。なお、停車場は

さまざまな地物から成り立っているため、パッケージ間に依存関係を定義した(図4)。

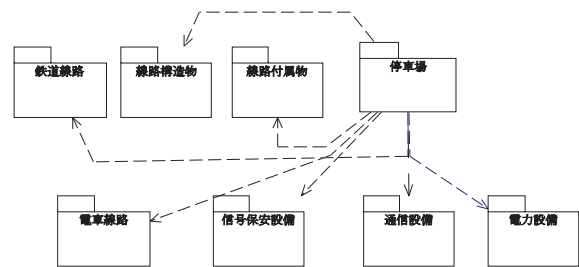


図4 「鉄道基盤データ地物」パッケージとパッケージ間の依存関係

【鉄道線路】

鉄道線路パッケージの構成を図5に示す。各地物の関係は、実世界の構成およびアプリケーションでの利用性を考慮し、以下のように定義した。

- ・鉄道線路は、鉄道基盤データ地物を継承する。
- ・鉄道線路は、鉄道線形と実際に存在するものの二つに分けて定義した。
- ・鉄道線形は軌道と対応し、分岐交点はポイントと対応する。
- ・軌道はレールや分岐器、まくら木などの地物からなるため、集成関連を定義した。
- ・分岐器はレールやポイントなどの地物からなるため、集成関連を定義した。
- ・軌道中心線には建築限界や車両限界が定められているため、関連を定義した。

【空間スキーマプロファイルの作成】

地理情報標準の空間スキーマから、鉄道基盤データの作成に必要な形状をプロファイルとして抜き出した。プロファイルとして、点を示す GM_Point, 線を示す GM_Curve, 面を示す GM_Surface を基本要素として定義した。なお、軌道中心線等鉄道線形の表現に曲線を使うことを想定し、GM_Curve を構成する座標幾何として折れ線 (GM_LineString) だけではなく、円弧 (GM_Arc) を使用できる構造とした。

【時間スキーマプロファイルの作成】

地理情報標準の時間スキーマから、鉄道基盤データに必要な時間を記述する型として、開始と終了からなる期間を示す TM_Period と、TM_Period の開始及び終了を記述するための瞬間を示す TM_Instant を、プロファイルとして抽出した。

【参照系プロファイルの作成】

空間参照系として、後述する JMP (Japan Metadata Profile) 2.0 で定められた空間参照系の識別子を記述するための型を定義した。これにより、データ作成者は空間参照系のデータを個々に作る必要がなくなる。

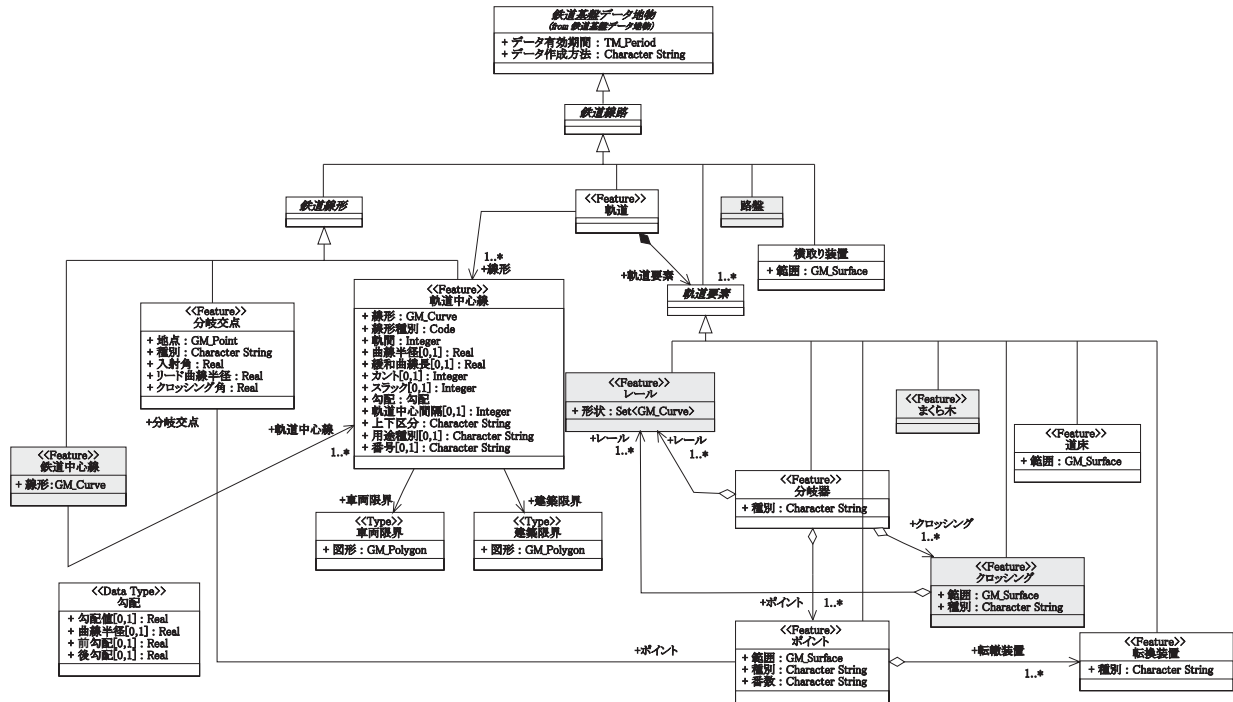


図5 鉄道線路パッケージの構成

(3) 地物定義文書の作成

次に、応用スキーマに定義した各地物について、その詳細な説明を文書として記述した。記載例およびUMLクラス図との対応を図6に示す。

(4) 座標参照系の検討

座標参照系は日本測地系2000とし、また日本全国へ展開することが可能なように緯度経度座標系を採用した。時間参照系は、グレゴリオ暦、日本標準時とした。

4.1.3 品質要件の整理

鉄道基盤データは、地理情報標準における品質の考え方に準拠するものとした。地理情報標準では、サービス定義に適合する空間データを実現するため、空間データに対する要求事項を、データを作成する場合は空間データ製品仕様書に、データを利用する場合は利用者要件に記述する。そのため、データの作成者は、製品仕様書に基づきデータを作成し、サービス定義に適合する理想的なデータとの差異との観点でその品質を評価する。そして利用者は、説明された品質情報を把握し利用者要件に基づき利用可能性を検討する。なお、その説明方法は、利用者が混乱しないように表示のルールが規定されている。

空間データの品質情報は、定量的な情報と非定量的な情報に分類される。定量的な情報は、表1に示す5つのデータ品質要素を用いて記述される。

データ品質要素に対する鉄道基盤データの基本方針として、基盤情報として必要最低限の情報を定義していることから誤りがあるとはならないとしたが、「位置正確度」については、サービスによって要件が異なるため、表2に示すように4つに分類したうえでそれぞれの品質に対する方針を定めた。

各サービスに対する品質要件を一覧表形式で整理し、

表1 データ品質要素

データ品質要素	評価指標
完全性	データ集合内に存在すべき地物インスタンスと、地物属性、地物関連の過不足
論理一貫性	データ構造、地物属性、地物関連が守らなければならないルールに対する適合度
位置正確度	地物の位置と基準となる位置との間の近さの計量的な値
時間正確度	時間属性の値と基準となる時間との間の近さの計量的な値、および時間属性が守らなければならないルールに対する適合度
主題正確度	主題属性の値の正確さと、地物型の分類の正確さ

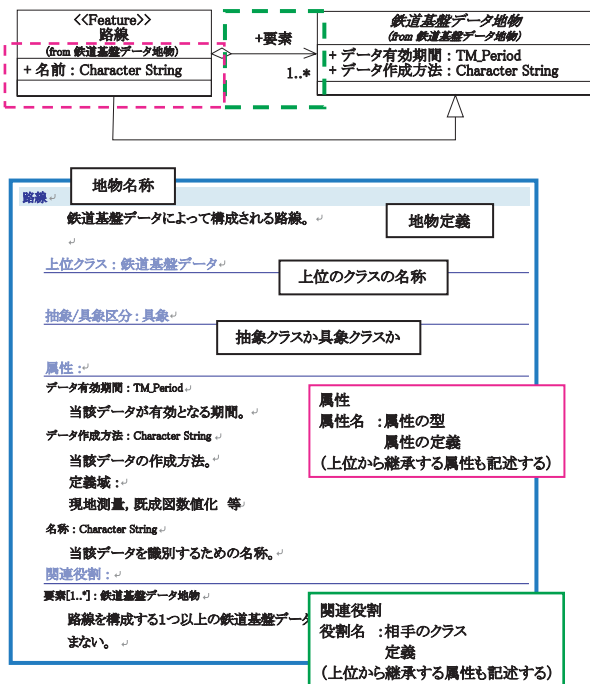


図6 地物定義文書とUMLクラス図との対応

表2 位置正確度に対するサービス別の品質方針

サービス	品質に対する方針
位置特定を行うサービス	特定に用いる機器等の品質を損なわない程度の品質を定義。例えばGPSによる位置特定では50cm程度の位置正確度であることから25cmを担保する等。
画面に周辺状況を表示し把握を行うサービス	表示したい範囲・縮尺から必要となる品質を定義。12.1インチの画面で100mの範囲を表示する等から25cmであれば画面上0.5mmとなり利用上問題ない等。
他の地物との位置関係が必要となるサービス	管理したい地物によって個々に品質を定義。目視確認可能な地物は25cm、地下埋設物は1m、その他用途に応じて正確度を上げる(データ作成方法は別途要検討)。
防災マップ等他のデータの含まれた図面への対応	想定される利用縮尺から品質を定義。例えば既存の防災マップは2500分の1で作成されているものが多いため、その縮尺での使用を想定した。

各情報項目についてその位置正確度(絶対/相対)を定義したところ、誤差の大きさは、1cm, 10cm, 25cm, 70cm, 1m, >1mの6通りにパターン化された。

4.1.4 製品仕様書(素案)の作成

(1) 符号化仕様の作成

製品仕様書に従い作成されるデータの交換には、計算機プラットフォームに依存しないXML(Extensible Markup Language)文書を用いる。UMLクラス図で作成された応用スキーマに従ったXML文書を作成するため、符号化仕様としてXML Schema(XML文書の構造)を定めた。この作業は、一定のマッピング規則に従って、UMLからXML Schemaに展開される。XML Schemaには、実際にXML文書としてデータを作成するために必要となるタグの構造やデータの型(文字列や整数など)などの規則が定義される。このXML Schemaの規則に従い、実際のデータを記述したXML文書が作成される。

(2) メタデータの検討

製品仕様書に従い作成される空間データについて、利用者がその系譜や品質がわかるように説明を記述する。鉄道基盤データ製品仕様書では、このメタデータを記述するためのスキーマとしてJMP2.0を採用した。JMP2.0は、地理情報のメタデータ記述スキーマとして制定されているISO19115との整合性を保ちながら、記述項目が約70項目と必要十分であり、国土地理院により活用が促進されている。

(3) 製品仕様書(素案)の作成

以上の検討を踏まえ、「鉄道基盤データ製品仕様書(素案)」を作成した。製品仕様書には、利用者に分かりやすいデータを提供するため、出来上がった製品の構成や品質を含む説明がなされる。製品仕様書に記載しなくてはならない事項およびその内容を表3に示す。

表3 製品仕様書記載事項

記載事項	説明
概観	製品仕様書の目的や引用規定、用語の定義など
適用範囲	製品仕様書を適用することができる時間・空間的範囲
データ製品識別	製品仕様書の題名や発効日、問合せ先
データ内容及び構造	応用スキーマクラス図および文書
参照系	時間および空間参照系
データ品質	データの品質要件および評価方法
データ製品配布	製品仕様書に基づいて作成された空間データの配布形式および配布媒体に関する情報
メタデータ	メタデータの記載項目
その他(オプション)	その他追加情報を記述する。

4.2 データ作成

鉄道総研国立研究所の所内試験線を対象とした鉄道基盤データを作成するため、測量を実施し、製品仕様書(素案)に従った空間属性(位置および形状)、時間属性(時間の特性)、主題属性(時間的かつ空間的な情報以外の情報)の実装を行った。

4.2.1 測量方法の検討

鉄道基盤データを作成するための測量方法としては、表4に示す3通りが考えられるが、選定にあたってはそれらの特徴と品質要件を勘案して決定する必要がある。鉄道基盤データでは、表2の方針に従って整理した各サービスに対する品質要件の記述(軌道中心線の絶対位置精度25cm, ホームと軌道中心線との相対精度2.5cm等)を満たすため、絶対位置精度25cm以下、相対位置精度1.5cmで位置情報が得られる現地測量手法を適用することとした。

表4 鉄道に適用可能と考えられる測量手法

測量方法	作業内容
現地測量	作業対象地区へ実際に立ち入り、実測により必要な空間属性および主題属性を取得する
写真測量	航空写真を用いて図化することにより空間属性および主題属性を取得する
マップデジタルイズ	既存の図面から空間属性および主題属性を取得する

4.2.2 測量(時間, 空間, 主題属性の取得)

製品仕様書(素案)に従い、試験線(線路延長約800m)の測量作業を実施した。データ取得の対象とした地物は、軌道中心線, 車止め, 分岐器, 転換装置, 道床, 側溝, 開渠, トラフ, 距離標, 勾配標, 曲線標, 通減標, 線路諸標, 車両接触限界標, 器具箱, 踏切道, 踏切保安装置, 踏切警報機, 踏切遮断機, 踏切制御子, 電柱, ホーム, 車庫等である。

(1) 空間属性の取得

電子基準点(秋川, 小金井)からGPS測量により6点の1級基準点を線路近傍に作成し、作成された1級基準点からGPS測量により2級基準点を作成した。これらの基準点からTS(トータルステーション)を用いて3級基準点やTS機械点(TSを設置するための基準点)を作成した。データ取得対象の地物の空間属性は、TSによる細部測量を行い、地物の形状、位置の取得を行った。

(2) 主題属性の取得

現地調査および資料により収集した。

4.2.3 構造化

測量作業により取得した空間属性から、図形の位相構造を構築した。さらに、マッチング処理によって、図形データの中に主題属性データを埋め込み、最終的な主題属性の編集を行った。

4.2.4 XMLデータの作成

構造化された空間属性、主題属性および時間属性を、先に作成した符号化仕様に基づきXMLファイルフォーマットに変換した。データ数量は291点に上った。

表5 品質評価結果

品質要素		品質要件	実際に行った品質評価方法	品質評価結果
完全性	過剰	0%	データ集合の地物の員数と現地調査との比較	0% (合)
	洩れ	0%	データ集合の地物の員数と現地調査との比較	0% (合)
論理 一貫性	概念一貫性	100%	論理検査プログラムによる全数検査	100% (合)
	定義域一貫性	100%	論理検査プログラムによる全数検査	100% (合)
	フォーマット一貫性	100%	論理検査プログラムによる全数検査	100% (合)
	位相一貫性	100% 軌道中心線と分岐交点の位相の共有	論理検査プログラムによる全数検査	100% (合)
位置 正確度	絶対または外部正確度	軌道中心線の位置正確度が25cm以内	検証データとの比較 (RTK-GPS) *1	最大値 15cm (合)
	相対または内部正確度	ホームと軌道中心線の相対位置が2.5cm以内	実距離との比較	最大値 0.8cm (合)
	グリッドデータ 位置正確度	—	—	—
時間 正確度	時間測定正確度	—	—	—
	時間一貫性	—	—	—
	時間妥当性	—	—	—
主題 正確度	分類の正確性	100%	現地または資料による地物と基盤データとの比較検査	100% (合)
	非定量的属性の正確性	100%	現地または資料による地物と基盤データとの比較検査	100% (合)
	定量的属性正確度	100%	現地または資料による地物と基盤データとの比較検査	100% (合)

*1 軌道中心線の上の5地点におけるGPS干渉測位 (スタティック測位) による成果、および試験台車中心にアンテナを仮設してRTK-GPSにより軌道中心線を直接測量した成果を検証データとした。測量時期はおよそ1年6ヶ月前。

4.2.5 品質評価

地理情報標準にて定める品質評価手順に準ずる項目 (4.1.3 参照) により、全数検査および抜き取り検査を実施した (表5)。

4.3 仕様の妥当性検証

4.3.1 データ作成を踏まえた仕様の見直しの検討

製品仕様書 (素案) に基づくデータ作成作業を踏まえ、製品仕様書の妥当性および検討項目を整理した。ほとんどの地物について、空間属性および主題属性の妥当性を確認することができたが、表6に示すような課題については今後検討が必要である。

表6 現地測量時に判明した仕様上の課題

取得対象	課題
道床およびホーム (測定箇所、間隔) の空間属性と主題属性	データ取得範囲が現地作業では不明瞭
軌道中心線と分岐交点の主題属性	情報によっては現地調査では取得できない
トラフの空間属性と主題属性	地中にあるものは現地調査では取得できない
暗渠、管類の空間属性と主題属性	地中にあるため現地調査では取得できない
通信ケーブル類の空間属性と主題属性	データ取得間隔が不明瞭なものがある

4.3.2 アプリケーション利用実験を踏まえた仕様の見直し

作成したデータを複数のアプリケーションで実際に利用するため、製品仕様書 (素案)、XML Schema および XML データを各アプリケーションの開発受注会社へ配布した。なお、各アプリケーションではそれぞれ必要なデータのみ抽出、変換して使用した。

開発者への説明、アンケート調査、意見交換を行ったところ、利用者としての観点からの地物定義、符号化仕様、品質に関する計26件の質問、要望が寄せられ、このうち7件について仕様等の見直し、規定の明確化により対応した。以上を反映し、110ページに及ぶ「鉄道基盤データ製品仕様書 (案) 第1版」を確定した。

5. 広域的な整備の可能性に関する検討

4.2で選択した現地測量手法では、所内の約800mに満たない試験線のデータ作成 (測量、構造化、XML 変換、

品質評価) に15人日を要したことから、広域的な整備の可能性を探るため、改めてその他の測量手法 (航空写真測量、線路平面図のマップデジタイズ) によるデータ作成および工事時の竣工データの利用について検討した。精度確保、作業効率、データ作成時の鮮度、データ更新の簡便さについて比較、整理を行ったが、現時点では明確な対策を示すに至っておらず、引き続き検討を行う。

6. おわりに

キロ程に替わる三次元の絶対位置座標による位置情報管理が可能な地理空間情報基盤の仕様案を検討し、試験線の測量を実施して本仕様に基づくデータを作成し、複数アプリケーションによる利用実験を行ったうえで、その結果を反映した「鉄道基盤データ製品仕様書」を取り纏めた。

以下に今後の課題を示す。

- ・三次元の絶対位置座標による位置情報管理にメリットが見出せる各系統の参加による仕様の見直し
- ・IT化による高度なアプリケーションの実現に際し、共用性が高い新たな地物を追加するための仕様の見直し
- ・低コストかつ高密度線区にも適用可能な、鉄道に適したデータ取得方法の検討
- ・多様な地物が存在する営業路線における検証
- ・コストと品質要件のトレードオフを踏まえたサービスの優先順位等の再検討
- ・工事等による実設備の変更に即時対応可能なデータ代替システムの検討
- ・列車制御用途で求められるデータの完全性を確保するためのチェック方法の確立

本研究は国土交通省の補助金を得て実施したものである。

文献

- 1) 山本春生: 保守作業の安全を確保する, RRR, Vol.61, No.5, pp.32-35, 2004