# 東京都交通局 5500 形電車における sustina コンセプトの適用

Application of the "sustina" Concept to Series 5500 Vehicles for Tokyo Metropolitan Bureau of Transportation

中西俊輔 Shunsuke NAKANISHI 三木健次 Kenji MIKI 上関仁護 Jingo UWAZEKI 横山大雅 Taiga YOKOYAMA 横川浩大 Kota YOKOKAWA 長谷部和則 Kazunori HASEBE

東京都交通局 5500 形は、sustina S13 シリーズ初の共通プラットフォーム採用量産車両として開発した。本形式は、乗入事業者間の仕様に準拠し、車体長さ 18m、片側 3 扉、軌間 1435mm ボルスタ付台車など、一般的な車体長さ 20m、片側 4 扉の通勤車両と比べ仕様が大きく異なっている。従来はこのような仕様を満たすために、個別に専用設計を行っていたため、高コストとなる問題があった。そこで当社は、ユーザの多様なニーズを低コストで実現する sustina のコンセプトを適用し、共通プラットフォーム設計に基づく部品、システムを積極的に採用することで、開発・設計・製造を実現したので解説する。

5500 series vehicle for Tokyo Metropolitan Bureau of Transportation was developed as the first S13 series "sustina" mass produced common platform. As this model is intended for several operators, specifications to comply with were significantly different from those for normal commuter vehicles, for example, vehicle length:18m, 3 doors on one carside, 1435mm track gauge bogie with bolster. Conventionally such custom-made design was costly until "sustina" concept was introduced to satisfy various needs of the customer at lower cost and J-TREC's common platform design on equipment and system has achieved excellent development, designing, and manufacturing.

# 1 はじめに

東京都交通局5500形は,浅草線,および乗り入れ先の京浜急行電鉄,京成電鉄,北総鉄道で運用される車体長さ18m,片側3扉,8両編成の新型車両である(図1).

本形式は、1号線直通車両規格や1号線直通車両の申し合わせ事項等の取り決めにより、標準軌ボルスタ付台車とし、先頭車をMc車の構成とした他、乗り入れ先に対応した走行性能を持たせている。

本形式のように複数の鉄道事業者間を走行する車両には、多種多様の仕様が要求される. 従来はこのような仕様を要求する車両の開発・設計・製造プロセスに



図1 車両外観

対して、個別に対応していたため、コスト増加の要因となっていた.

当社は、sustina のコンセプトである鉄道利用者の安全確保を第一とした上で、鉄道のライフサイクルコスト低減、鉄道事業者の沿線コンセプトに合致した車両デザインなどに対し、共通プラットフォームを適用してこれを実現した。本稿では、衝突安全構造を採用した構体構造、フリージアコンソール、システム構成、標準軌ボルスタ付 sustina 台車など、共通プラットフォームを駆使して量産化した本形式についての詳細を述べる。

#### 2 構造および特徴

#### 2. 1 お客さまの安全確保

sustina の基本方針にある「お客さまの安全確保」に 基づき、従来から取り入れられている側面衝突対策に 加えて、連結妻端台枠隅に衝突時の離反性を高める構 造を設け、オフセット衝突対策を講じることによって 安全性を向上させている。

また,非常時の避難誘導をスムーズに行うために, 先頭車には貫通扉開放時の有効幅800mmを確保した貫 通口を備えている(図2).これは法令により地下鉄車 両の貫通口に求められる最低限の有効幅である550mm



図2 貫通扉 (開放状態)

を大きく超える幅であり、車椅子が乗降可能な乗降口 (側出入口)と同じ寸法である。そのため一般的な仕様 より大きな貫通扉となり、設計時には3D-CADを有効 的に活用して貫通扉開閉時の動作軌跡、周囲設備品や 連結時における相手車両とのクリアランスの干渉確認 を実施した。また、貫通扉や前面覆いなどの複雑な形 状を設計するツールとしても多用した。



図3 客室腰掛下非常梯子

さらに先頭車には、乗務員室に設置されている非常 梯子とは別に客室腰掛下にも梯子を設置することで、 非常時の状況に合わせて複数箇所で同時に避難対応で きるようにするなど、お客さまの安全確保に繋げてい る(図3).

## 2. 2 共通プラットフォーム化の推進

# 2. 2. 1 sustina共通プラットフォーム構体構造

当社の sustina は、S24シリーズが先行し量産していたが、本形式において車体長さ18m、片側3扉のS13シリーズの200両を超える量産を実現した。S24シリーズとは車体長さをはじめ、ドアや窓の数、車両限界が異なることによる車体幅の違いがあったが、sustina 共通プラットフォーム構体構造を採用し、S24シリーズと同じ断面形状の材料を使用することによって、製造コストや設計期間の短縮を図っている(図4)。今後 sustina を展開するにあたり、18m車の需要は高く、本形式の製造によってその基礎を構築することができたことは大きな成果である。



図 4 構体外観

# 2. 2. 2 sustina 共通プラットフォーム機器システム構成

## ①列車情報管理について

本形式は、列車情報管理装置であるINTEROS®(注) を公営鉄道向けとして初めて搭載した車両である. この 車両制御システムには,乗務員支援,検修支援機能の 拡張性の向上、WiMAX等を利用した地車間通信の機能 がある.

INTEROS®を搭載する機器箱は、車体長さ20mには 対応しているが、本形式は車体長さが18mであり床下ス ペースが狭い、そのため、床下スペースをねん出するた めの工夫を行っている.

#### ②主回路構成・主電動機について

主回路構成であるVVVF装置は、各M車に1台ずつ搭載 する1C4M方式である。本形式の構成はMc1+M2+M3+T4+ T5+M6+M7+Mc8であるが、 検修場のパンタグラフ (以下、 パンタ)検査台位置の関係で、パンタは既存の5300形に 合わせてM3, M6のみに2台ずつ搭載とする制約があった. このため、両端3両ずつでユニットを構成する必要があり、 sustina 標準の1C4M構成を生かしつつ, M3からMc1・ M2へ、M6からM7・Mc8へパンタ配線を渡す構成とした.

パンタ必要台数は主に、力行・回生容量、パンタ総容 量に依存し、力行・回生容量>パンタ総容量となる場合 は力行・回生容量に制限を行う. したがって、パンタ台 数が多い方が力行・回生性能としては有利であり、当初 は乗入先となる京浜急行電鉄の車両とほぼ同等の性能 を得る上でパンタ5台が必要となる懸念があったが、走 行シミュレーションによって編成パンタ4台でも必要な 力行・回生性能が確保できることが確認され、容量制限 を設定している.

同様に主電動機の出力を検討する上で190kW, 155kWの選択肢があったが、主回路構成と同様にシミュ レーションを実施することで出力155kWでも充足するこ とを確認し、採用に至っている.

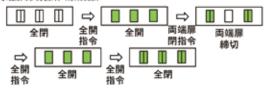
#### ③戸閉機について

戸閉機は,1号線系統の車両として初めて電気式(ラッ ク・ピニオン式)を搭載した。モータの回転運動をその まま開閉動作に変換しており、シンプルな構成による高 精度な動作と、素早い検知を可能としている. 施錠後も 発車までは戸閉力を弱め、挟まったものを引き抜きやす くしている.電気式と3扉の組合せとしても初であり,4 扉車の車外解錠ハンドルが2扉ずつを1ハンドルで解錠 するのに対し、今回は2扉を1ハンドル、残りの1扉を1ハ ンドルでそれぞれ解錠する構成にした. また乗入先機能





#### ② 両端屏締切操作(京成線)



・全開、全閉、両端原開、両端原閉の4つの個別指令により、 操作手順に沿った締切状態を構成する。

図5 限定開扉動作および扱い

として、限定開扉機能を搭載している. 限定開扉は、京 急線では中央扉締切、京成線では両端扉締となり、扱い 手順も京急線:全閉→中央扉締切にて開→全閉,京成線: 全閉→全開→両端扉締切にて閉→全開→全閉と異なる (図5). 空気式戸閉機では、戸閉電磁弁のON/OFF制御 で開閉動作するため、シーケンス構成は比較的容易であ るが、電気式の場合は、INTEROS®-戸閉機での伝送指 令によるため、通常の全開、全閉に加え、扱い手順に沿っ て両端扉開 (→中央扉締切), 両端扉閉の4つの個別指 令が必要であり、これらはぎ装回路側のシーケンスで実 現している.

### ④ 故障時の救援対策について

故障時の救援対策として、救援用電気連結器を搭載 する. 本形式同士の他, 乗入先の京浜急行電鉄の車両と の救援が可能であり、対象回路は非常ブレーキ、常用ブ レーキ、保安ブレーキおよび合図ブザー回路である. 非 常ブレーキについては、本形式は sustina 標準である非 常ループ回路にて最終的に非常電磁弁のプラス側のみを 加圧するのに対し、京浜急行電鉄の車両では非常ループ 回路がプラス側→非常電磁弁→マイナス側と引き通さ れ、最終的に接地される構成となっている. これに対応 するため、非常ブレーキ構成は sustina 標準の構成とし、 本形式の電気連結器に短絡を設ける等の対策を行うこと で、併結時に京浜急行電鉄の車両のマイナス側を接地さ せる回路を構成した. 常用ブレーキは、本形式では INTEROS<sup>®</sup>による伝送指令であるのに対し、京浜急行電 鉄の車両はメタル線指令となっているため、常用ブレー キ読替回路を設置して救援動作に対応させている.

#### ⑤非常時の防護機能について

非常時の防護機能として、緊急スイッチを搭載して おり、操作により非常ブレーキ動作、パンタ下降、警 笛動作等の制御を行う. 緊急スイッチは乗入先のみで 使用し、浅草線内では動作無効にする必要があるが、1 号線系統では路線切替スイッチを持たない。IR無線では地上/地下モードの切替を行うが、地下モードは浅草線の他、北総線も含まれるため、浅草線条件のみの抽出ができなかった。この対策として、INTEROS®の案内制御データより、浅草線内の設定時に認識し、スイッチの有効/無効制御を行っている。

# ⑥車輪フランジの磨耗対策について

一部の編成では、車輪フランジの磨耗対策にフランジ塗油装置を搭載している。カーブセンサにより曲線半径に応じて油吐出制御を行う。装置は車両側からの制御は行わず、スタンドアローンとなっているため、施工性においても有利な仕様である。

# 2. 2. 3 運転台「フリージアコンソール」

広い前面貫通口を実現するため、運転台の幅をS24 より小さくする必要があった。また、1号線直通車両規格および乗入協定に定められたスイッチ等の配置を厳守し、かつINTEROS®対応機器を納めるため、フリージアコンソールの構造を有効活用した。特に本形式のフリージアコンソール右袖ブロックにおいては、可動式の機器取付システムを新しく用いた。このシステムはS24フリージアコンソールには無かったもので、従来よりも幅が狭い運転台ながら、メンテナンス性と広い前面貫通口とを両立した(図6)。

#### 2. 2. 4 標準軌ボルスタ付 sustina 台車

標準軌である浅草線用の車両を新造するにあたり、標準軌ボルスタ付 sustina 台車を新規に設計・製造した.

sustina 台車とは、共通プラットフォームの考え方を 取り入れ、台車構造や取付部品の共通化を積極的に図っ



図6 運転台

た台車のことを指し、すでに狭軌用台車はシリーズ展 開されている.

標準軌用 sustina 台車を設計するにあたり、ボルスタ (まくらばり) の有無が検討されたが、浅草線の仕様および乗り入れ先の意向もあり、ボルスタ付台車の採用となった.

台車は電動台車が先頭用と中間用の2種類、付随台車が塗油装置の有無による2種類の計4種類で構成される(図7、図8). 付随台車の前方に延長された塗油装置取付用の受台は、電動台車の排障装置取付用の受台と共通構造とするなど、4種類すべてにおいて随所に共通化が図られている. 車軸軸受は  $\phi$  120密封複式円錐ころ軸受とし、軸箱支持装置(図9)は軸はり支持方式とすることで、他の sustina 台車と共通となる標準仕様の構造とした.

台車枠は、側はりと横はりともにC型断面材を最中合わせした溶接組立構造であり、電動台車と付随台車で基本構造の共通化を図った.

車体支持装置は、空気ばねを車体とまくらばりの間に設けたダイレクトマウント方式とし、台車枠上部に設けた左右1対の側受にてまくらばりを支持する構造である。

基礎ブレーキ装置は、電動台車は踏面片押しのユニット方式で、付随台車は踏面片押しのユニット方式と1軸1ディスクのディスクブレーキ方式を併用している。電動台車と付随台車ともに、台車枠のユニットブレーキ受は全て共通形状とした。



図7 T-1D 電動台車 (先頭台車,排障装置付)<sup>(1)</sup>



図8 T-1F 付随台車 (塗油装置付)<sup>(1)</sup>



図 9 軸箱支持装置



図 10 駐車ブレーキ機能付ユニットブレーキ

駐車ブレーキは、先頭車両用台車の一部のユニットブレーキに内蔵されている。一般的な駐車ブレーキ機能付きブレーキユニットの場合、駐車ブレーキシリンダが台車上方に突出してしまうが、浅草線車両は床面高さが低く、台車のスペースが限られている。そこで本形式では、上下方向に小型化された一体型駐車ブレーキ機能付きブレーキユニットを採用した(図10)。このブレーキユニットは、狭軌台車にも適用できるため、sustina 台車向けの共通プラットフォーム部品としての有力な選択肢のひとつとなる。

# 2. 3 デザイン

羽田と成田という日本を代表する空の玄関口を結ぶ 浅草線は、江戸の伝統文化が色濃く残る沿線である。 この沿線の特徴を、分かりやすく感じ取れるデザイン で表現することで街を彩り、より日本を感じられる車 両を目指した。

エクステリアデザインは、浅草線沿線と縁の深い「歌舞伎」の隈取りをモチーフとして現代風にアレンジし、 国際的にも日本をイメージしやすいデザインとした.

インテリアデザインは、沿線の象徴的な観光資源と 日本らしさを感じることができる車内空間を目指し、 腰掛には寄せ小紋、袖仕切には江戸切子調の柄、壁面 には竹や和紙調など、和の素材感や柄をふんだんに取り入れて落ち着きを持たせている(図11~16).

腰掛は1人ずつの着座位置を明確にしたバケット形であり、2種類の詰物を組み合わせて座り心地を向上させるとともに、1人当たりの座席幅を従来の460mmから15mm広い475mmに設定し、訪日観光客をはじめとする様々な体型にも適応できる配慮をしている。さらに腰掛部にあるスタンションポールは、優先席部だけでなく一般部においても凹凸のあるディンプル加工を施して握りやすくするとともに、色弱者でも視認性の良い色で着色して視認性を高めるなど、随所にバリアフリーデザインを取り入れている。



図 11 客室 (1)



図 12 優先席およびフリースペース部 (1)



図 13 寄せ小紋柄の腰掛表皮(1)

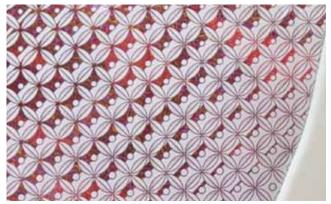


図14 江戸切子調の袖仕切ガラス(1)



図 15 沿線由来のイラストを入れた妻引戸ガラス(1)



図 16 沿線由来のイラストを入れたカーテン (1)

# 3 試験・検証

### 3. 1 誘導障害試験

新形式車両による既設信号設備への影響を確認する 誘導障害試験を、本形式でも実施し、合格している。 誘導障害試験は、SIVインバータ、VVVFインバータ に搭載されているスイッチング電源によるノイズが、 信号設備、保安装置および誘導無線に影響を与えない ことを確認するもので、信号設備直上の直達測定、帰 線電流の測定の2種類がある。

誘導障害試験の対象は浅草線だけではなく、直通運

用されている京成線,京急線,北総線に使用している 信号設備も試験対象とし,各社からの信号設備の情報 にもとづき,実際の試験時には信号メーカ,誘導無線 装置メーカの立会いの下,定置での車両立ち上げ時に 発生するノイズ,車両走行時の加速,回生および減速 時のノイズを確認している.

本形式のVVVFインバータは、新技術としてSiC素子を採用しており、これまでの半導体素子よりも小型・軽量化・省エネ効果が見込まれるものの、スイッチング時のノイズが発生しやすい。

実施したノイズ対策として、インバータ内へのコンデンサの追加、側面および底面へのカバーを厚みの変更、インバータユニットのアース線外し、起動シーケンスソフトウェアの変更、キャリア周波数変更など多岐に渡り、ハード面、ソフト面の改良を行っている。

本形式での試験過程および試験結果は, sustina 車両へ反映することで, ノイズの少ない車両製造, 試験時の手法簡略化に寄与している.

## 4 おわりに

東京都交通局5500形は、鉄道利用者の安全確保を最優先に、鉄道事業者の要求によるボルスタ付台車や、 先頭車のMc車構成、乗り入れ先に応じた走行性能などの多様な要求を、共通プラットフォームによって低コストで実現した次世代ステンレス車両である。このようにsustinaは、鉄道事業者、そして鉄道利用者の多様な要求に応えつつ、ライフサイクルコストの低減を実現している。

今後展開する sustina は、鉄道事業者の、そして鉄道利用者のさらなる多様な要求に応えていく.

本稿をまとめるにあたり、東京都交通局の関係者に おかれては多大なご協力を賜った. この場を借りて厚 く感謝を申し上げる.

#### 参考文献

- (1) 都営浅草線5500形車両パンフレット, 東京都交通局
- (注) INTEROS<sup>®</sup>は東日本旅客鉄道株式会社の登録商標である

## 著者紹介 -



中西俊輔 技術本部 技術部 (システム設計) 主任



三木健次 東日本旅客鉄道株式会社出向 (元車体設計)



上関仁護 技術本部 技術部(ぎ装設計)主査



**横山大雅** 技術本部 技術部(台車設計) 主任技師



横川浩大 技術本部 技術部(デザイン) 主査



**長谷部和則** 技術本部 技術部 部長(次世代システム)

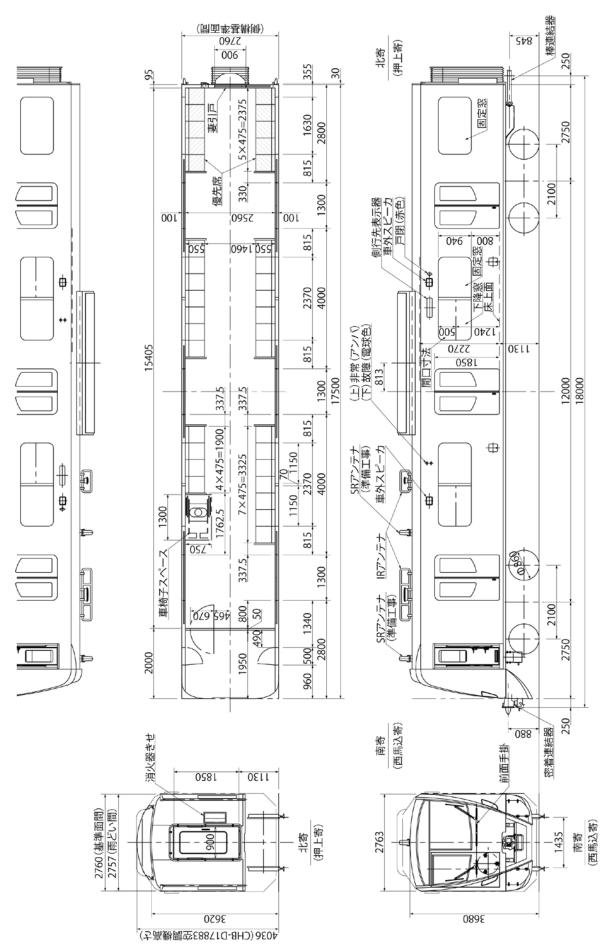


図 17 車両形式図 (先頭車)

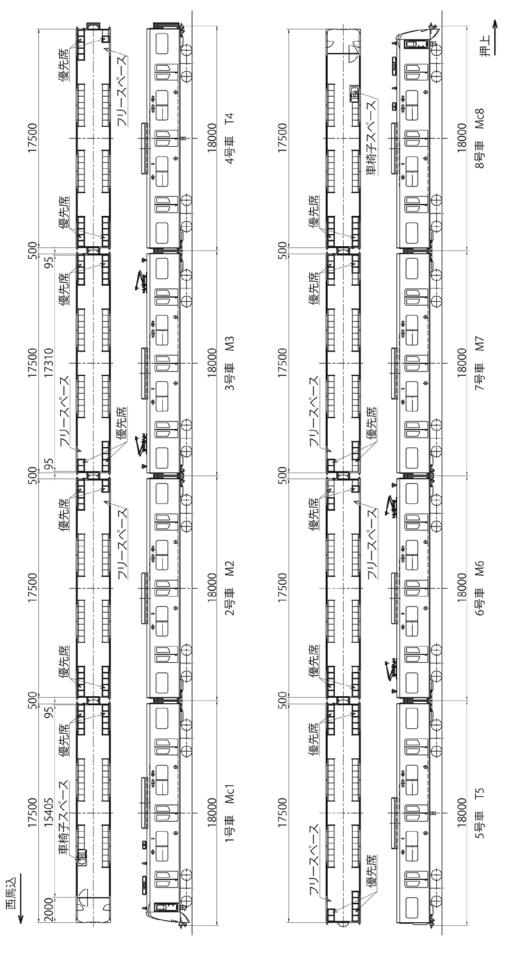


図 18 編成図

# 表 1 主要諸元表

項	目	諸					 元			
		←西馬込							押上→	
		< >				< >				
編成	と 車 種	Mc1(1)	M2(2)	M3(3)	T4(4)	T5(5)	M6(6)	M7(7)	Mc8(8)	
									( )は号車	
定員	(内座席)	121(35)	134(45)	134(45)	134(45)	134(45)	134(45)	134(45)	121(35)	
質	量	33.6t	30.8t	31.9t	28.9t	28.5t	32.0t	30.8t	33.6t	
最大	長 さ (連結面間)	18000mm								
寸法	幅	2760mm(最大 2808.8mm)								
高 さ 3620mm(最大 4036mm)										
用	L	普通鉄道旅客車(通勤車)								
車		オールステンレス合金製2軸ボギー連結電車								
電気方	式• 軌 間	DC1500V 架空電車線式・1435mm								
集電	装 置	ステンレス製シングルアーム,ばね上昇空気下降式								
制御	装 置	VVVF インバータ, 電力回生ブレーキ・最適励磁制御機能・新負荷回生制御機能付 1C4M[Mc1, M2, M3, M6, M7, Mc8]								
<b>→</b> ` 1.	- キ 装置	自動列車停止装置連動・応荷重装置付電空併用電気指令式電磁直通ブレーキ 保安ブレーキ付								
	一十 装直	T 台車(片押踏面併用ディスクブレーキ) M 台車(片押踏面ブレーキ)								
台車	車構 造	空気ばね・ボルスタ付き台車								
台車	直形 式	T-1D	T-1E		T-1F	T-1G	T-1E		T-1D	
主電	動機	かご形3相誘導電動機全閉自冷式 155kW×4台/両								
低電圧	電源装置	静止形インバータ方式(SIV) 260kVA								
	電 池	アルカリ蓄電池 90Ah/5HR (補助蓄電池 2.2Ah/20HR)								
	圧 縮 機		三相誘導電動機駆動二段圧縮ピストン式オイルフリー 1300L/min							
冷房	装置	屋根上集中式 58.14kW(50000kcal/h)×1台/両								
暖房	装 置 	客室:2 段階切換式シーズ線ヒータ, 運転室:ファンヒータ								
戸閉め装置	置 側 扉	FCPM(回転型モータ/ラック・ピニオン)式ドアエンジン								
<i>I</i> = □ <i>I</i> (		手動(ゼンマイ巻取り式半自動閉機能付)								
	▼	デジタル符号伝送式及び商用周波数軌道回路式(デジタル処理併用)連続速度照査方式(2重系)								
	** *** ** * * * * * * * * * * * * * *	大地掃路方式誘導無線電話 								
平岡 旧 平	以日生衣但	車外:正面行先表示器(フルカラーLED 式), 側面行先表示器(フルカラーLED 式)								
表示	装 置	車内: 情報提供装置(17 インチ LCD, 2 画面)								
照明	 装 置	客室灯 LED 照明: 40W 相当 運転室灯 LED 照明: 20W 相当								
		前照灯:31/15W 主副切り替え式 LED 灯 尾灯: LED 赤(前面行先表示器一体)								
放送		音声合成自動放送装置,分散式,車内・車外スピーカ,運転士マイク								
	Id ***	運転最高速度 120km/h, 設計最高速度 130km/h, 加速度 0.92m/s² (3.3km/h/s)								
車両	性能	常用減速度 1.11m/s² (4.0km/h/s),非常·保安減速度 1.25m/s² (4.5km/h/s)								
L		l								

(注) INTEROS<sup>®</sup>は東日本旅客鉄道株式会社の登録商標である