

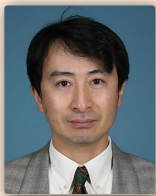
- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

# 日本の電気鉄道 120年の歩みと展望

1895 (明治28) 年にわが国初の電車が営業を始めてから今年で120年になります。現在は保有する電車が約5万両と世界最多、大都市圏の通勤輸送ではピーク時は約2分間隔の運転で大勢のお客様に対応し、都市間輸送では新幹線が最高速度320km/h (東北)、最小運転間隔3分 (東海道) で年間約3億人を輸送するという大きな発展を遂げました。この節目となるときに120年の歩みを概観し、今後の発展を展望する特集を企画しました。



秦 広  
Hiroshi Hata  
車両制御技術研究部  
主管研究員  
【専門分野】 車両電気



兎束 哲夫  
Tetsuo Uzuka  
電力技術研究部  
部長  
【専門分野】 変電システム

## はじめに

電気鉄道, とりわけ電車は高速性, 高加減速性, 省エネ性などの利点を有しますが, 今後ともさらなる利便性の向上, 環境負荷の低減など社会的要請は続くものと考えられます。本稿ではわが国の電気鉄道120年の発展のエボックと今後の技術開発動向を概観しながら, 電気鉄道の将来像を展望します。

## 日本の電気鉄道の始まり<sup>1)</sup>

1895 (明治28) 年2月1日, 京都電気鉄道が東洞院通東塩小路踏切 (現在の京都駅付近) と伏見町油掛の間6.6kmを開業しました。これがわが国の電気鉄道の営業運転の始まりです (図1)。この鉄道は琵琶湖の水力発電で運行されました。長さ6m, 自重4t, 定員28名でした。道路上を走るため最高速度は8km/hに抑えられ, 先走りの人が「電車が来る」という注意を促していたそうです。

## 電車, 電気機関車などの国産化<sup>1)</sup>

この京都の電車は, 車体は国内で製作しましたが, 電気機器は輸入品でした。その後も機器を輸入, あるいは車

両を輸入という時代が続きましたが, 徐々に国産化の動きが進んできました。電気機関車では, 1920 (大正9) 年に鉄道院大宮工場で製造された10020形 (後のED40形) が初の国産機関車でした。これは信越線の碓氷峠向けで, 峠の区間での蒸気機関車の置き換えに使われました。その後も機関車の輸入は続きましたが, 1928 (昭和3) 年に製作されたEF52形以降は全て国産になりました。電車では1923 (大正12) 年に製造されたデハ63100系 (後のモハ10系) が機器を含めて国産となりました。

この頃, 変電所の機器の国産化も進みました。

## 電化の進展

国鉄及びJRの電化キロの推移を図2に示します。当初の電化は東京地区やトンネルの多い急勾配区間で行われました。昭和初期 (1920年代後半) から伸びはじめ, 戦後の高度成長期に急伸していることがわかります。

## 交流電化

1950年代前半にフランスで商用周波数である50Hzでの電化の技術開発

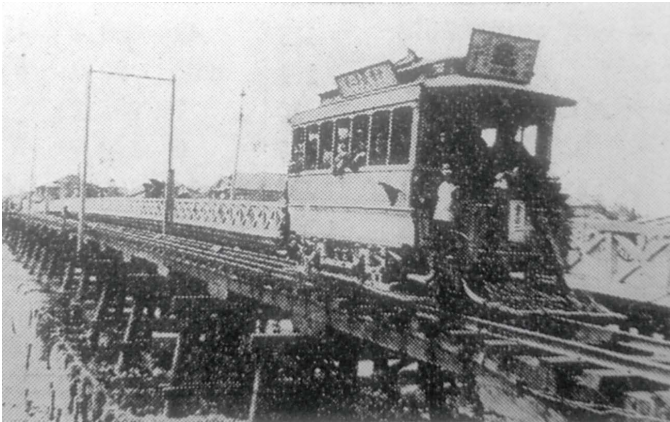


図1 日本初の電車<sup>2)</sup>

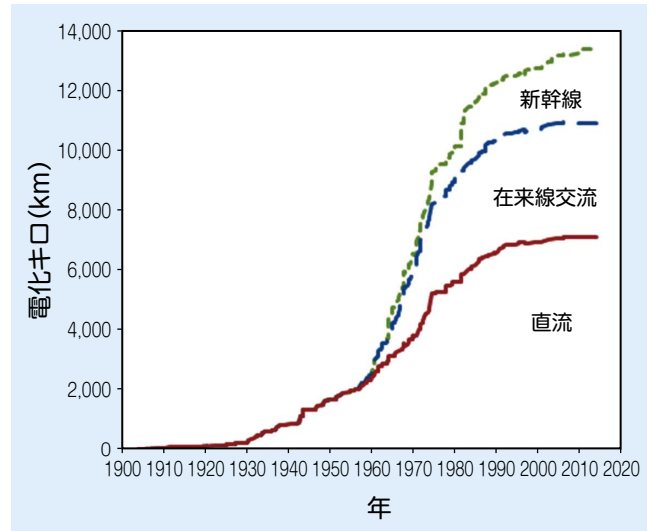


図2 国鉄・JRの電化キロの推移

が進み、実用化されました。架線電圧は25kVと高くすることができ、電力を車両に送る際の電流を小さくできました。これにより変電所と車両の間での電圧降下を抑えることができました。言い換えれば変電所間隔を広くすることができ、低コストで電化できます。わが国でもこの技術を学び、車両、地上設備とも国産技術を用いて1954(昭和29)年に仙山線の一部区間を試験的に交流電化して試験を行い、実用化のめどをつけました。これ以降に電化された、東北、北海道、北陸、九州の幹線は交流電化されました。しかし、後述のように日本では動力分散方式(電車方式)が広く使用され、この場合車両に変圧器と整流器を搭載するコストを考慮すると必ずしも優位性があるとは言えません。なお、新幹線のような高速鉄道では大電力を車両に供給する必要があり、新幹線の開発当時に交流電化技術が確立されつつあったことは非常に重要なことでした。

### 動力分散方式の採用

日本の電気鉄道車両は電車が約5万両、電気機関車が約1000両と電車の

割合が非常に高くなっています。これは諸外国と比べても特異な状況です。これは貨物輸送のシェアが比較的小さいことや、都市間輸送の列車に電車(非電化区間では気動車)が使われていることがその理由です。戦後の幹線電化の進展の中で、車両を諸外国のように機関車+客車(動力集中方式と呼びます)とするか、動力分散方式とするか、議論がありました。その中で、最大軸重が小さくできて軌道の劣化を抑えることができること、終着駅での折り返しで機関車を付け替える必要がないので短時間で折り返せることなどから動力分散方式が選択されました。1950(昭和25)年に東京・沼津間に使用された湘南電車(図3)、1958(昭和33)年に東京・大阪間を6時間50分で結んだ特急こだまに使われた20系(後の151系)がこの流れを決定づけた車両です。新幹線もこの延長線上で最初の0系は12両全部が電動車でした。

### 回生ブレーキ

電気ブレーキの一種で、ブレーキ時に発生する電力を架線に返す方式です。最近、車両に搭載したりチウムイオ

ン二次電池などの蓄電装置に充電する方式が開発されていますが、これも回生ブレーキに含めます。

歴史的には意外に古く、1928(昭和3)年に急勾配区間の高野山電鉄で使われたという記録があります<sup>1)</sup>。広く使われるようになったのは1970年代に後述のチョッパー制御が電車の制御方式の主流として使われるようになってからです。現在は回生ブレーキを装備した電車が多数派になっており、ブレーキ時に発生した電力を近くで加速中の電車が利用することにより省エネ効果をあげています。新幹線電車はすべて回生ブレーキ付きです。

### 新幹線

日本の電気鉄道の歴史の中で新幹線は言うまでもなく特筆すべきエポックです。世界的に最高速度160km/h程度であった1964(昭和39)年に初めて200km/hの大台を超えた新幹線(図4)は世界の鉄道の斜陽化を食い止めました。現在、高速鉄道は世界に広がっていますが、これは新幹線がなければありえなかったと思われます。現在、各国では最高速度が300km/hあるいは

それを越えつつあります。なお電気運転以外では200km/hに達しているのはイギリスのディーゼル運転のIC125のみであり、高速化の面での電気鉄道の特長を実証しています。

高速鉄道ではほとんどの路線が交流25kV電化であり、先に述べた交流電化の技術が開花したと言えます。

### 架線の方式の発展

電車の多くは屋根上のパンタグラフが電車線（架線）としゅう動して電力を得ています。低速の路面電車の架線はトロリー線一本だけですが、一般の鉄道ではトロリー線とちょう架線の二本からなるシンプルカテナリー方式が主流となっています。高密度運転線区ではツインシンプル方式やき電ちょう架線方式など、電線の数や断面積を増加させることで、電流容量を確保しています。また、新幹線では高速運転中も架線とパンタグラフの接触が途切れないように、電線三本からなるコンパウンドカテナリー方式架線を標準として1964（昭和39）年にスタートしました。その後の整備新幹線では、高張力に耐える新材料を用いて、構造が簡単でコスト軽減を狙ったシンプルカテナリー方式による高速運転が実現されています。

このほか、一部の地下鉄では架線の代わりに線路脇に敷設したサードレールから集電することによって、トンネル断面を小さくしています

### ATき電方式

交流き電方式では沿線の通信線への誘導障害対策が必要であり、ひとまずBT（吸上変圧器）き電方式が採用され、東海道新幹線開業当初もBT方式です。次いで、AT（単巻変圧器）を用いて大電力を容易に供給可能でかつ誘導問題にも対処可能なATき電方式が開発さ



図3 湘南電車<sup>3)</sup>



図4 新幹線0系電車

れ、在来線（1970（昭和45）年）に続いて山陽新幹線（1972（昭和47）年）から実用化されて標準となっています。

### 抵抗制御からインバーター制御へ

電車を駆動する主回路の方式は当初は直流電動機を使い、これに加える電圧を変圧抵抗器（主抵抗器）で加速に応じて徐々に減らしていく抵抗制御方式が主流でした。構造が簡素で現在主流となっている誘導電動機を使わなかったのは、発車後速度があがっていてもほぼ一定の回転力を得る制御技術が当時は無かったからです。

抵抗制御の時代は長く続きましたが、1970年代に高速で電流を入り切りできるサイリスターと呼ばれる半導体素子ができ、これを用いてチョッパー制御と呼ばれる方式が誕生しました。この中でも電機子チョッパーと呼ばれる方式では主抵抗器での電力の損失をなくし、回生ブレーキが使えるようになったことと相まって省エネ効果を得ました。

その後サイリスターを6個組み合わせたインバーターが1980年代に開発されるとこれにより誘導機を駆動する時代が始まりました。



図5 ハイトラム



図6 地上の蓄電設備

## 今後の技術開発動向

### (1) 省エネ, CO<sub>2</sub>排出低減

電気鉄道は省エネの点で優れていることは述べてきましたが、現在でも回生失効は起きており、機械ブレーキで熱エネルギーになってしまいます。これを防ぐためにリチウムイオン二次電池などの蓄電装置を車両に搭載(図5)、あるいは地上に設置することが始まっています(図6)。リチウムイオン二次電池の価格が下がれば今後さらに普及することが考えられます。

また、電車のインバーターや変電所の整流器の半導体素子にSiC(シリコンカーバイド)を用いることにより損失

を大きく低減し、小型・軽量化ができますので、この研究開発が進んでいます。

### (2) 高速化

新幹線や各国の高速列車の最高速度をみると、日本とフランスが320km/h、中国は350km/hの営業運転経験を有し、現在380km/hの車両の耐久走行試験を実施中との情報があります<sup>4)</sup>。航空機との競争などを考えると今後も高速化の技術開発が考えられます。

## 電気鉄道の将来像

電気鉄道の誕生は低速で小型の路面電車でした。その後の技術開発は高速

化・大型化・省エネルギー・省メンテナンスの各方向に進められました。現在では、安全で正確な長距離高速輸送機関として、また大量の通勤輸送として日本の輸送の中核を占めています。

少子高齢化時代を迎えた日本において、電気鉄道の将来像は高速化・大型化よりも、一層省エネルギー・省メンテナンスに向かっていくでしょう。近年の鉄道総研における技術開発ではそのような課題が増えています。

一方、世界を見渡せば、渋滞に悩む大都市は数多く、都市内交通機関としての電気鉄道はますます発展していくことでしょう。また、自動車や飛行機に対抗する安全で環境に優しい交通機関として、高速鉄道の計画も進められています。

将来像の一つとして架線のない電気鉄道が考えられます。まず候補に挙げられるのはバッテリー駆動です。ヨーロッパのトラムでは繁華街の広場などでの部分的架線レスが実現し、またJR東日本では非電化区間でのバッテリー走行営業運転が始まっています。今後既電化区間にも広く使われるようになるためにはバッテリーの相当な進歩が必要になり、燃料電池駆動が先じるかもしれません。どの方式にせよ現時点で可能性を想定できるのは比較的パワーの小さい都市鉄道などで、新幹線などの架線レス化はまだ夢の段階です。**RRR**

## 文献

- 1) 鉄道電化協会：電気鉄道技術発達史、1983
- 2) 電気鉄道便覧、p13、オーム社、1956
- 3) Wikipedia commons、国鉄80系電車
- 4) World's fastest train poised to enter service : Railway Gazette International、Vol.170、No.2、pp.65-69、2014