

随筆9と10では交流の電力網に関して述べてきましたが、直流と交流の違いとその相互の変換技術を理解することは、現代社会の根幹をなすエネルギー供給体制を理解することにつながり、それらの技術は鉄道で真っ先に実用化されたことを思うと、鉄道の技術の素晴らしさを感じられると思います。今回はそのあたりに関して考察してみたいと思います。

26. 交流電化の全国への展開

以前お話しましたが、日本の鉄道の電化は、まず初めは直流電化から始まり、その後まずは試しと、交通量の少ない山形県の仙山線（仙台－作並間）で、交流（50ヘルツ）で始まりました。作並－山形間は超大トンネル（面白山トンネル、5,361m）があり、煤煙対策ですでに直流で電化されていました。仙山線で交流電気機関車の基本的技術を確認した後、次に選ばれたのは交通量の多い北陸本線（関西と北海道を結ぶ日本海縦貫線）で、米原の隣の田村から敦賀（約40km）まで交流（60ヘルツ）で電化されました。

北陸本線で蒸気機関車よりはるかに強力（貨物用蒸気機関車の代表であるD51の1.5倍以上の牽引力）な交流電気機関車（ED70）の開発が行われ、交流電化は幹線でも十分利用可能な事が確認されました。その後交流電化は全国に広がり、東北地方、北海道では50ヘルツ、中国地方を飛ばして九州で一気に60ヘルツで電化が行われました。中国地方が直流電化となったのは、日本の物流の大動脈である山陽本線が早い時期に直流で電化されていたため、その関係で伯備線（山陽と山陰を結ぶ主要幹線）は直流で電化されました。

四国の電化はかなり遅れましたが、瀬戸大橋の完成に合わせて直流で電化されました。もし四国が交流電化になっていたら、最近超人気の寝台特急「サンライズ瀬戸」はなかったと思われます。

- 1) 東京近郊の電化、茨城県は東京から近い取手以北が交流電化になったため地域の発展が遅れた。

以上の様に、東海道・山陽筋、すなわち昔から交通量の多かったところは、早い時代に直流で、交通量がそれほど多くなかったところは、時代が少し遅れて交流電化になっています。

東京近郊に関して、交流の新幹線を除くと、山手線、東海道本線、上越線、中央本線は終点まで直流です。東北本線は、上野から宇都宮を通して黒磯（東京から160km）までが直流で、黒磯以北は青森まで交流です。ところが常磐線では、上野から約40kmの取手までが直流ですが、取手から仙台まで（実際には東北本線の岩沼駅まで）が交流電化です。

実に東北本線の上野と黒磯間の4分の1の距離しか直流電化されませんでした。そのため取手から先は、上野から直通する電車がなかったため、列車本数が大幅に減る時代が長く続き、東京のベッドタウンとしての宅地開発が大幅に遅れました。

- 2) 気象庁の地磁気観測所「石岡の壁」があるために交流電化になった。

地磁気観測所は、地球の磁場や地電流を高精度に観測する国の重要な機関です。明治政府は当時国の威信をかけて、地磁気観測所と緯度観測所（岩手県水沢市、現奥州市）を誘致しました。地磁気観測所は大正時代初めまで都内（赤坂）にありましたが、都電（直流）の走行で地磁気に乱れが生じるため、茨城県石岡市柿岡に移設された経緯があり、実に周囲35kmは直流電化は不許可となっています。交流でも原理的には磁気の乱れが生じますが、乱れを平均することによりノイズ成分が打ち消されます。そのため、常磐線は取手以北が、その後新しく開業したつくばエクスプレスは守谷以北が交流電化となり、以前からある関東鉄道は全線非電化で現在でもディーゼルカーが走っています。
・ディーゼルカーの機能向上により関東鉄道は電化する必要がなくなった。

本来関東鉄道は首都圏の鉄道として電化も考慮したのですが、直流電化は不可、さらに交流専用電

車は高価（直流電車の1.2～1.5倍）ということで、電化をあきらめていましたが、最近のディーゼルカーの機能向上により、電化の必要性はないと判断されています。高德線も交通量が比較的多いため、以前全線の電化も検討されましたが、2700系振り子ディーゼルカーの導入で電化は必要なくなりました。

・蓄電池で動く新型ハイブリッド式車両の導入

今後、全国のJRのローカル線や地方鉄道では、ディーゼルカーに代わって、架線からの電気、あるいはディーゼルエンジンで発電した電気を蓄電池に貯めて、その電力でモーターを駆動（VVVFインバータ制御）するハイブリッドカーが導入される予定です。すでにJR烏山線では2014年から、東北線の電化区間は架線からの直流で、烏山線内は蓄電池に充電された電力で動くハイブリッド車両（EV-301系）が導入されています。

高德線では本年6月から新型ハイブリッドカー（3600系）が導入されますので、今から楽しみです。

この様に鉄道の技術の進歩とともに電化の必要性が変化していくことがわかります。

3) 常磐線の特殊事情があったため世界でも珍しい交直両用電気機関車開発の実験場になった。

常磐線は、かつて東北・北海道方面への東北本線のバイパスとして利用され、特急・急行に比べ貨物列車が多数運用されるなど交通量大変多かったのですが、直流・交流の接続点が上野から距離の近い取手であったため、両区間を車両の交換なしで走行できる交直両用の電気機関車・電車の開発がどうしても必要でした。必要は発明の母と言いますが、地磁気観測所が東京から比較的近い場所にあったからこそ、常磐線は世界でも珍しい交直両用の技術開発の実験場になったわけです。

・交直両用電気機関車は、どうしても交流電気機関車、直流電気機関車より重くなる。

仙山線と北陸線で開発された初期の交流電気機関車は、直流電気機関車とは全く異なる考え方のもとに開発されました。要するに交流では電圧をトランスで簡単に、しかもほぼ連続的に変えられるので、一旦電圧を下げてから直流に整流して直流モーターを回していました。そのため、モーターの回転数をスムーズに変更できるため（自動車のギアの段数が非常に多いことに相当）、動輪が空転しにくく、例え

ば、動輪が4軸の交流電気機関車であれば6軸の直流電気機関車との同等以上のけん引力を持ちます。

ところが、交直両用にするためには、直流電気機関車そのものに、交流から直流に変換する機器（トランス、シリコン整流器）を装備する必要があり、その分どうしても重くなる弱点がありました。

・交直両用電気機関車（EF80）の開発は軽量化に苦勞した。

常磐線では、まず交直両用電気機関車（EF80、50ヘルツ対応）が開発されました。以前の常磐線は、水戸以北の路盤の強度が不十分であったため、ただですら重くなりがちな交直両用電気機関車を、できる限り軽くする必要がありました。そのため、それまでの電気機関車には、原則的に1つの動輪に1台のモーター（F型の電気機関車では、合計6軸に6台のモーター）がついていましたが、EF80では1つの台車（2軸）に1台のモーター、すなわち動輪2軸に対してモーター1台（パワーのある大型）という特異な構造を採用しました。随筆4で触れましたが、碓氷峠で利用されたEF62は、重量を軽くするために3軸台車を2つ（モーター6台）としたのに対して、EF80では2軸台車3つ（動輪6軸）にモーター3台としたことは涙ぐましい努力です。ただし、EF80は同じ台車の2つの動輪を全く同じ速度で回転させるため、雨の日や勾配で空転が起りやすいという弱点があり、最後まで解決できませんでした。

4) 青森・北海道と関西を結ぶルート（日本海縦貫線）は、歴史的経緯から3電源方式（交流60ヘルツ、直流、交流50ヘルツ）となった。

主要幹線の交流電化は北陸線から始まりましたが、その後北陸線全線（交流60ヘルツ）、信越線（直流）、羽越線（直流、村上以北は交流50ヘルツ）、奥羽本線（交流50ヘルツ）で電化が進められました。このルート（全体を通して日本海縦貫線と呼ばれる）は関西と青森・北海道をむすぶ重要な幹線で交通量も多いため、電化と軌道の強化が優先的に進められました。そのため、全区間を通し（機関車の交代なし）で走れる3電源対応で、しかもパワーのある交直両用電気機関車の開発が待たれました。

・3電源対応の万能交直両用電気機関車（EF81）の開発

3 電源対応の交直両用電気機関車 (EF81) は、当時直流専用電気機関車として高い完成度を誇り、寝台特急や高速貨物の牽引で実績があったEF65形をベースに、常磐線で開発したEF80形機関車の技術を反映する万能機として開発されました。すでに交流区間で利用されていた交流専用電気機関車 (ED75) は、変圧器で電圧を細かく調整できるため、動輪の粘着力が高く、貨物列車の牽引に適していたのですが、VVVFインバータ制御の技術は当時いまだ未完成であり、やむなくEF65をベースにした経緯があります。EF81は、交流区間ではED75の技術を応用した変圧・整流を行い、直流機と同じく抵抗制御でモーターを駆動する方式をとりました。

- ・ EF81とEF65の大きさ、重さの比較、重量軽減に涙ぐましい努力をした。

EF81は交流用機器を乗せるために、全長がEF65の16.5mにくらべて18.6mと2.1m長く、車両幅はEF65の2.8mに対して2.9mと10cm広がっています。重さに関しては、EF81は100.8トン、EF65は96トンでその差は4.8トンと予想よりかなり少なめです。EF81に搭載された交流用機器の重量は約11.6トンなので、重量軽減 (約7トン) にいかに努力したことがわかります。その代わりではないですが、EF65の軸重は16.0トン、EF81は16.8トンと0.8トン多くなっており、その分けん引力が増えています。従ってEF81は交流区間においてだけでなく、直流区間でもEF65より牽引性能は高くなっています。

それではレールの損傷が気になりますが、日本海縦貫線は重要な幹線であるため、特別に強化されたレール (60kgレール) が敷設されています。なお、常磐線に関しても、その後水戸以北のレールが強化されて、EF81も走行できる様になっています。

- ・ EF65とEF81は両車ともに大変人気があった。

EF65は高度成長時代に東京と九州方面を結ぶブルートレインを颯爽と牽引する姿から、鉄道ファンだけでなく、ビジネスマン、そして女性にも大変人気がありました。最盛期には「あさかぜ」などブルートレインが1日に10往復以上東京駅を発車していましたので、多くの人の憧れを集めていました。

EF81は大阪・札幌間の豪華寝台特急 (トワイライトエクスプレス) に特別に塗装された牽引機として高い人気を誇りました。

EF65とEF81の両機関車は日本の鉄道史を代表

する大変人気の高い名機でしたが、基本的にはあくまでも直流モーターを使う旧型の機関車でした。

5) VVVFインバータ制御の技術を用いた直流専用、ならびに交直両用電気機関車の開発

EF65の後継機として直流モーター最後のEF66 (EF65の1.5倍の牽引力) が開発されましたが、パワーがありすぎて空転しやすいこともあり、新たな機関車の開発が待たれました。そこで満を持して開発されたのがVVVFインバータ制御、3相交流モーターを用いた直流用のEF200と交直両用のEF500でした。ただしEF200とEF500は電力を使いすぎて変電所の能力が不足することから、パワーを少し落としたEF210 (ECO-POWER桃太郎) とEF510 (ECO-POWERレッドサンダー) が量産され全国で活躍しています。

- ・ 50、60ヘルツの両方の周波数に対応するための技術的問題

皆さん、鉄道車両にとって50ヘルツと60ヘルツで何が違うのか気になるところだと思います。簡単に説明すると、60ヘルツより50ヘルツのトランスの方が、同じ磁力を得るために、鉄心が大きくコイルの巻き数も多くなっています。大電力でなければ50ヘルツのトランスを60ヘルツで使うことは一応可能ですが効率が落ちます。60ヘルツのトランスを50ヘルツで使うことは過熱して大変危険です。電気機関車では大電力を使うため、50ヘルツ用のトランスの一次側のコイルの途中からタップを出して (実際に巻き数を減らして)、さらに2次側も巻き数を減らすことで対応しています。東海道新幹線は軽いトランスですむ60ヘルツ対応の車両となっています。東北新幹線は50ヘルツ対応、北陸新幹線は50/60ヘルツ両用となっていて、時代とともに進歩していくことが感じられます。

6) 交直両用電車の開発

交直両用電車の開発は、交直両用電気機関車の技術を応用して進められ、初期は直流モーターで動く電車へ交流用機器 (シリコン整流器) を乗せる形でしたが、その後電気機関車と同様にVVVFインバータ制御と3相交流モーターの利用により、大変安定した交直両用電車が実現しています。

(次回も思いつくまま鉄道のテーマに関して書きたいと思いますのでご期待ください。)