

第21回

ディーゼル車両

はじめに

鉄道車両の動力源には蒸気機関、電動機（モーター）、内燃機関（ディーゼル機関、ガソリン機関）があります。産業革命以降、蒸気機関車が鉄道輸送の主役でありつづけ、第二次世界大戦以降、世界各国の非電化区間で長らく用いられてきました。しかし、蒸気機関は大型で効率が低いことから、小型で高効率な内燃機関を動力源に用いる鉄道車両の開発が行われてきました。初期にはガソリン機関が用いられることもありましたが、燃料が安価、ガソリンより引火点が高く火災の危険性が小さい、出力が大きいといった長所から、現在ではディーゼル機関が主に用いられています。

ディーゼル機関の動力伝達方式には、自動車のようにクラッチとギヤを用いる機械式、液体式変速機を介して機関の動力を動輪に伝える液体式、機関に直結した発電機による電力で台車内の電動機を駆動する電気式があります。その中でも、液体式ディーゼル車両はトルクコンバーターの実用化とともにドイツで発達し、電気式ディーゼル車両は発電機の制御手法の変遷とともにアメリカを中心に発達してきました。そして現在では、電気式を発達させたシリー

ズハイブリッド車両、液体式を発達させたパラレルハイブリッド車両の開発が進められ、一部で実用化されつつあります。ここでは、ディーゼル車両の変遷について、ディーゼル機関や動力伝達装置の発達とともに振り返ります。

ディーゼル機関の発明と初期のディーゼル車両

ディーゼル機関は、1898年にドイツのルドルフ・ディーゼルにより試作されました(図1, 図2)。世界最初のディーゼル車両は、1913年に営業運転を開始したスウェーデンのメルスタ・セーデルマンランド鉄道といわれています。これは、75馬力の6気筒ディーゼル機関に直結した発電機で直流電動機を駆動する電気式でした。このように、初期のディーゼル車両は機関に直結した発電機で直流電動機を駆動する電気式で、電車に近いものでした。

第一次世界大戦中、潜水艦や航空機などの開発とともに機関の出力向上と軽量化が進み、鉄道車両への適用が容易になりました。1920年代には、200馬力程度のディーゼル機関を搭載した車両が製作されました。

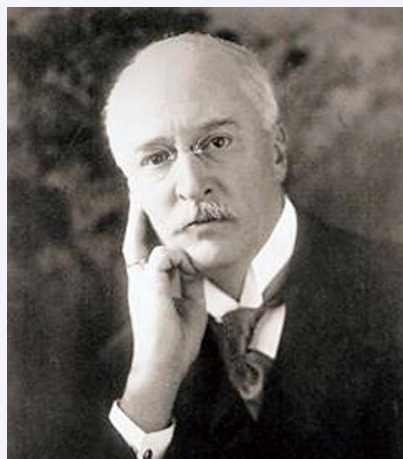


図1 ルドルフ・ディーゼル

出典：Public domain, from Wikimedia Commons

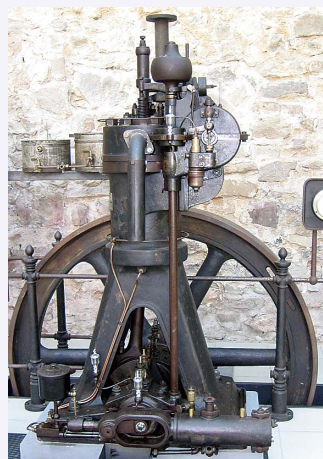


図2 ディーゼル機関プロトタイプ

出典：By Flominator, CC-BY-SA-3.0, via Wikimedia Commons



図3 フリーゲンダー・ハンブルガー

出典：Bundesarchiv, Bild 102-14151 / CC-BY-SA [CC-BY-SA-3.0-de], via Wikimedia Commons



図4 V200形液体式ディーゼル機関車

出典：By Matthew Black (originally posted to Flickr as DPP_0612), CC-BY-SA-2.0, via Wikimedia Commons

電気式ディーゼル車両の発展

ディーゼル機関の出力が増加するとともに、機関の動力を動輪に伝える動力伝達装置にも、制御の容易さや大出力に耐える装置の信頼性が求められるようになりました。特にディーゼル機関車は、牽引する重量が状況に応じて大きく異なるため、機関出力を自動的に制御できる動力伝達装置の開発が必要でした。また、欧米では自動車の普及により1910年頃から自動車専用道路が建設され、これに対抗するべく鉄道車両でも高速運転が必要になったことも、ディーゼル車両の研究開発に拍車をかけました。

1914年、アメリカのヘルマン・レンプが差動複巻界磁式制御を用いたレンプ式制御の特許を取得しました。これにより、負荷の変動に対して自動的に発電機出力を調整できるようになりました。このレンプ式制御の実用化によって、電気式ディーゼル車両の制御が容易になり、開発も活発になりました。

こうした背景の中、1932年、ドイツで2両接続式の流線形高速ディーゼル動車が運転を開始しました。このディーゼル動車はマイバッハ社製のV型12気筒の410馬力ディーゼル機関を両端の先頭車運転台裏に搭載し、300kWの電動機を2台駆動する電気式で、最高速度は160km/hにもなりました。この車両は“フリーゲンダー・ハンブルガー号”と名づけられ、高速ディーゼル動車の先駆けとなりました(図3)。また、アメリカでは1934年に電気式ディーゼル動車“ゼファー”が、1939年にF形電気式ディーゼル機関車が登場しています。このF形電気式ディーゼル機関車はV型16気筒1350馬力ディーゼル機関を搭載し、運転台付きのAユニットと、中間車のBユニットを組み合わせ

て運用されました。F形電気式ディーゼル機関車は使い勝手が良く、信頼性が高いことから、その後アメリカのディーゼル機関車はほぼ全て電気式となりました。また、駆動方式については、最初は直流発電・直流電動機駆動でしたが、1971年にはドイツで三相交流発電・誘導電動機駆動の電気式ディーゼル機関車DE2500が試作されています。

液体式ディーゼル車両の発展

電気式ディーゼル車両は、機関・発電機・電動機を搭載するため重く高価という側面がありました。そこでドイツを中心に、変速機を介して機関の出力を直接動輪に伝達する手法が模索されました。1920年代、ドイツとスウェーデンで、流体継ぎ手を応用したトルクコンバーターが実用化され、これを用いる液体式変速機の開発が進みました。その後、1928年には、トルクコンバーターと直結段を組み合わせたりスホルム・スミス式変速機が、1935年には複数のトルクコンバーターを内蔵する充排油式(フォイト式)変速機が開発されました。こうした液体式変速機を用いるディーゼル車両は電気式に比べて軽量で、また、機械式に比べて総括制御が容易であることから、ドイツを中心に発達しました。1935年にドイツ国鉄により、8気筒1400馬力ディーゼル機関と、フォイト式液体式変速機を搭載する液体式ディーゼル機関車が開発されました。こうした液体式ディーゼル車両の開発は第二次世界大戦により一時中断したものの、1953年には、V型12気筒1000馬力ディーゼル機関を2機搭載したV200形本線用液体式ディーゼル機関車が製作されています(図4)。

日本のディーゼル車両の変遷

日本初のディーゼル車両は、1928年に長岡鉄道が採用した雨宮製作所製のキロ1形ディーゼル動車といわれています。しかし、当時の技術力ではディーゼル機関を維持・整備しきれず、早々にガソリン機関に置き換えられてしまいました。それでも当時からガソリン機関に対するディーゼル機関の優位性は認識されていたようで、国鉄は1935年以降、キハ41000形に搭載されたガソリン機関GMF13形と同等スペックのディーゼル機関を国内メーカーの3社に競争させています。この結果を受け、1942年には8気筒150馬力、排気量17ℓの国鉄標準型DMH17系ディーゼル機関の基本設計が完了しました(図5)。

DMH17系の開発は、太平洋戦争により一時中断されましたが、終戦後に改良設計と開発が進み、1951年以降には量産化されるようになりました。同じころにTC2形液体式変速機が完成し(図6)、1953年に総括制御を可能とした液体式ディーゼル動車キハ44500形が試作されました(図7)。この試作車により、液体式変速機による総括制御運転が確立されたことや、先に試作された電気式ディーゼル動車キハ43000形及びキハ44000形に対して安価であることから、液体式ディーゼル動車が我が国の標準となりました。

DMH17系ディーゼル機関は国鉄標準型として1971年まで製造されましたが、180馬力と非力なことから、ディー

ゼル動車の高速化に対応できる大出力のディーゼル機関の開発が必要になりました。そこで新型機関は、DMH17系を2台搭載した特急型ディーゼル動車の加速性能を1台で満足する出力を目標に開発され、1966年に水平対向12気筒500馬力のDML30系ディーゼル機関が登場しました。この機関は、国鉄分割民営化の直前まで改良が加えられ、1986年には直噴・給気冷却器付のDML30HZが登場しています。

1987年の国鉄民営化後は、鉄道事業者が機関の設計を行うことはなくなり、コマツ(SA6D125, SA6D140シリーズ)や新潟原動機(DMF13HZシリーズ)、カミンズ(NTA885, N14R)といったメーカー製の汎用機関を採用しています。いずれの機関も燃焼方式の改善や給気冷却などの導入により、小型化、高出力化が一層進みました。現在では空冷アフタークーラーやコモンレールシステムといった新技術の採用により、排気量15ℓで600馬力を達成する機関も登場しています。一方、液体式変速機では、ギヤを用いる直結段が多段化され、動力伝達効率の低いトルクコンバーターを使用する速度域を狭くすることで高効率化が進められました。こうした小型高出力機関や変速機の直結段多段化により、現在では2000系(JR四国)や261系特急形気動車(JR北海道)のように、電車の加速性能にそん色ない特急ディーゼル動車も登場しています。

一方、液体式変速機(フォイト式)を用いたディーゼル機関車の開発も進められました。1962年には、V形12

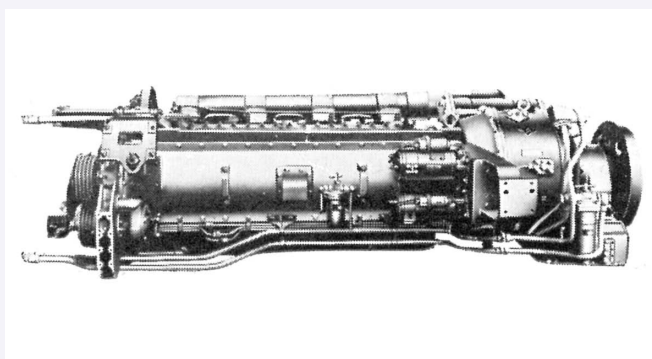


図5 DMH17H形ディーゼル機関
出典：最新 鉄道車両工学⁵⁾

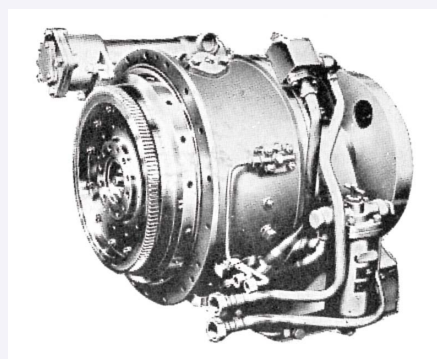


図6 TC2A液体式変速機
出典：最新 鉄道車両工学⁵⁾

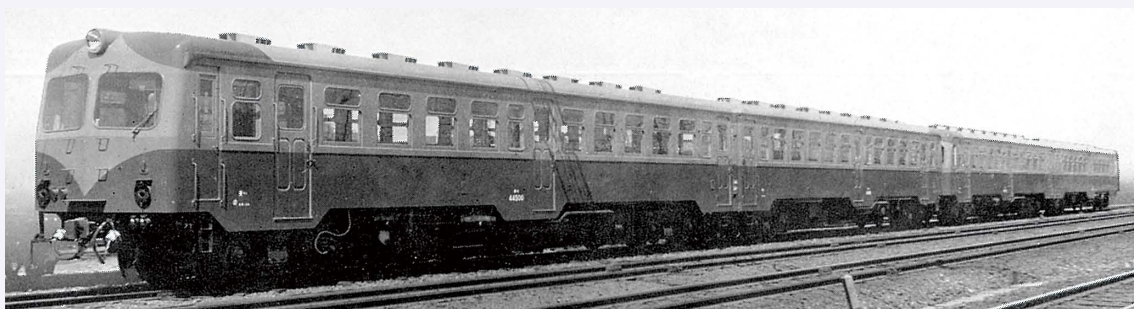


図7 キハ44500形液体式ディーゼル動車 出典：100年の国鉄車両3, 交友社, 1974



図8 キハE200



図9 モーター・アシスト方式ハイブリッド車両

気筒ディーゼル機関DML61系を2機搭載するDD51形液体式ディーゼル機関車が開発されました。DD51形式は、1966年に開発された入換兼支線用機関車DE10形式と並んで今なお各地で使用されています。国鉄民営化後は、DD51形式の老朽化や出力不足による重連運転の解消への要望から、1992年にDF200形式（JR貨物）が開発されました。DF200形式はV形12気筒1800馬力ディーゼル機関を2機、320kWのかご型三相誘導機を6台搭載し、1957年に開発されたDF50形式以来、実に35年ぶりの電気式ディーゼル機関車となりました。開発の背景には、大出力ディーゼル機関に対応する液体式変速機の開発が困難であることや、インバーター制御の進歩により駆動装置の小型化や保守の低減が期待できることが挙げられます。

ハイブリッド車両

これまで紹介してきたように、ディーゼル車両は電気式と液体式の2つの方式がそれぞれ発展してきました。ここで近年導入が進みつつあるハイブリッド車両についても触れておきたいと思います。

ハイブリッド車両は、大きく分けるとシリーズハイブリッドとパラレルハイブリッドに分けられます。シリーズハイブリッドは電気式ディーゼル車両に近く、機関に直結した発電機から得られた電力を蓄電池に蓄え、その電力で台車内の電動機を駆動する構成となっています。本方式は回生ブレーキによる蓄電を可能とするとともに、ディーゼル機関による発電を機関定格点に限定できるメリットがあり、HD300形式（JR貨物）やキハE200形（JR東日本、図8）、HB-E300系（JR東日本）で実用化されています。一方のパラレルハイブリッドは液体式ディーゼル車両に近く、蓄電池に接続された電動機と機関の両方で動輪を駆動できる

構成となっています。本方式では、変速機と電動機を並列に接続したモーター・アシスト方式がJR北海道で（図9）、機関と電動機を接続したマイルド方式がJR西日本で開発・試験されています。いずれも機関のアシストや回生ブレーキによる蓄電が可能で、既存の液体式ディーゼル車両に近い機器構成で実現できるメリットがあります。

おわりに

近年まで、ディーゼル車両の変遷は機関及び動力伝達装置の技術開発とともにあり、車両の高速化や機関出力の向上が開発の大きな動機となっていました。現在はハイブリッド車両をはじめとした省エネルギー化が技術開発の狙いになっています。例えば、現在取り組まれている技術開発には、トルクコンバーターの廃止による動力伝達効率向上を図ったデュアルクラッチ式変速機の鉄道車両への適用や、排気ガスの熱で駆動する蒸気機関による機関アシスト、といったものが挙げられます。ディーゼル機関は高効率で扱いやすい動力源であるため、ディーゼル車両はまだまだ非電化区間の主役であり続けると考えます。今後は省エネルギーをキーワードに、システム全体でのさらなる技術革新が進むものと思われまます。

（菅野普／車両制御技術研究部 動力システム研究室）

文献

- 1) 鉄道の百科事典編集委員会：鉄道の百科事典，丸善出版，2012
- 2) 湯口徹：内燃動車発達史，ネコ・パブリッシング，2004
- 3) 持永芳文，他：鉄道技術140年のあゆみ，コロナ社，2012
- 4) 佐藤一也，4サイクルディーゼル機関の技術系統化調査，国立科学博物館技術の系統化調査報告 第12集，2008
- 5) 久保田博：最新 鉄道車両工学，交友社，1968