

第111回

ディーゼルエンジン

はじめに

旧国鉄時代から現在に至るまで非電化区間を中心に走行している気動車は、その動力としてディーゼルエンジンを搭載しています。ディーゼルエンジンは1890年代にドイツのルドルフ・ディーゼルが発明し、以降自動車や船舶などさまざまな乗り物に使われています。

国内の鉄道用においては搭載されてから80年近くが経ち、現在のディーゼルエンジンは旧国鉄時代と比較して、小型・高出力化しています。ここでは、旧国鉄時代からの気動車用ディーゼルエンジン形式の変遷および技術的な進化について紹介します。

旧国鉄のディーゼルエンジン

1930年代、旧国鉄では気動車の動力には6気筒の100馬力のガソリンエ

ンジンGMF13形、そして、このエンジンをベースに8気筒化した150馬力のガソリンエンジンGMH17形を使用していました。この当時、ガソリンエンジンとディーゼルエンジンの経済面・安全面での比較がなされ、火災の危険性や燃料費などの観点で優位性のあるディーゼルエンジンを新たに採用するディーゼル化が計画されました。1950年代より量産化されたGMH17形をディーゼル化したディーゼルエンジンが定格150馬力のDMH17形です。

その後、DMH17形は燃焼方式を変更し、燃料噴射ポンプの改良も進められ、1960年に最終型となる定格180馬力のDMH17H形(図1)へ発展しました。以下、ディーゼルエンジンを単にエンジンと記します。

DMH17系エンジンは、旧国鉄の気動車用標準エンジンとして約6,900台と大量に製造され、日本全国の気動車に搭載されました。しかし、DMH17

系エンジンが特急用キハ81・82系や急行用キハ58系の高速輸送列車に使われ始めると、エンジンの出力不足による走行性能の低さが目立ってきたこともあり、DMH17系エンジンに代わる高出力なエンジンが要求されました。1960年代に新たなエンジンとして中出力形のDMF15系エンジンおよび大出力形のDML30系エンジンの開発がそれぞれ進められました。

DMF15系エンジンはDMH17H形をベースにふたたび6気筒化し、さらに過給機(詳細は後述)を付したもので、1962年にDMF15HS形が試作されました。開発当初は定速運転に適した発電用エンジンのDMF15H-G形、DMF15HS-G形が、キハ181系や12系客車の電源装置用として搭載されました。その後、1970年代後半には、インタークーラー(詳細は後述)を備えるなどの各種改良が重ねられ、もっとも大量に生産された定格220馬力の

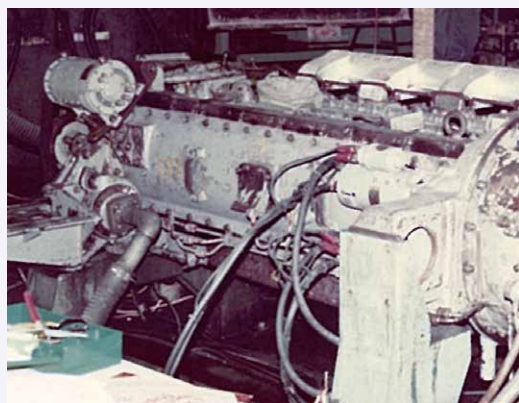


図1 DMH17Hエンジン外観



図2 DMF13HSエンジン外観(提供: JR四国)

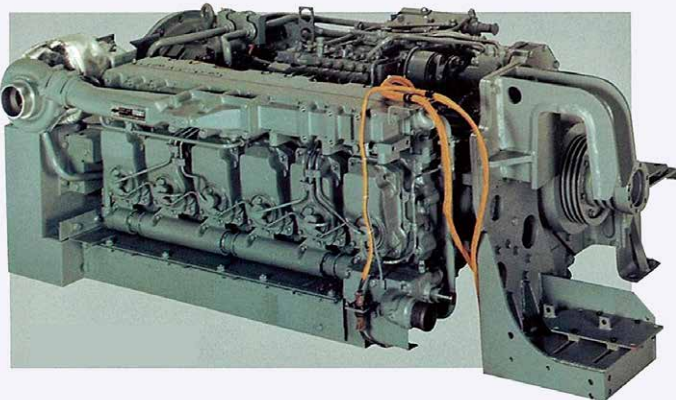


図3 SA6D125H-1エンジン外観(提供: コマツ)

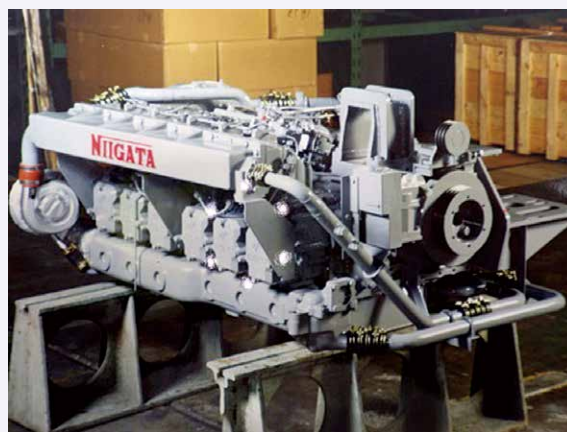


図4 DMF13HZエンジン外観(提供: IHI原動機)

DMF15HSA形は、キハ40・47系や特急用キハ181・183系に搭載されました。また、燃焼方式を予燃焼室式から直接噴射式(詳細は後述)へ改造したDMF15HSA-DI形も登場しました。

DML30系エンジンは、DMF15系エンジンをベースに12気筒化したもので、1966年に定格500馬力のDML30HSA形が製造されました。その後、運用中に生じた課題を解決するため、安全性や保守性を高めるための各種設計変更が重ねられ、特急用キハ181系や急行用キハ65・66などに搭載されました。なお、国鉄分割民営化以降には、燃焼方式を予燃焼室式から直接噴射式へ変更した定格550馬力のDML30HSJ形、さらにインタークーラーを備えた定格660馬力のDML30HZ形も製造され、キハ182系500番台に搭載されました。これらのDMF15系エンジンは約920台、DML30系エンジンは約350台が製造されました。

1982年になって船舶用エンジン(6L13AS)を鉄道車両用に展開したDMF13系ディーゼルエンジンが、国鉄分割民営化直前に投入された車両に搭載されました。初めに、立形(クランク軸に対し気筒を上部に配置)、直接噴射式で定格230馬力のDMF13S形がキハ37形式に搭載され、さらに

表1 旧国鉄時代からJR発足直後のエンジンの変遷

	燃料	年代			
		1930年代	1950年代	1960年代	1980年代
旧国鉄	ガソリン	GMF13形 GMH17形			
	ディーゼル		DMH17系	DMF15系 ↓ DML30系	DMF13系
JR	ディーゼル				DMF13HZ(新潟鉄工所) DMF11HZ(小松製作所) DMF14HZ(カミンズ)

横形(クランク軸に対し気筒を水平に配置)、直接噴射式で定格250馬力のDMF13HS形(図2)がキハ31、キハ38およびキハ185系などに搭載されました。

ここまで簡単ですが、40年近くわたる旧国鉄時代のエンジンの変遷について述べました¹⁾。

JRのディーゼルエンジン

先述した旧国鉄時代のエンジンは旧国鉄とメーカーが共同設計で開発していましたが、JR移行後はメーカーが主導してエンジンを開発するようになりました。JR移行直後に採用されたエンジンは小松製作所(現:コマツ、図3)、カミンズ、新潟鉄工所(現: IHI原動機、図4)の製品であり、現在もこの3社のエンジンを使用しています。

そして、現在に至るまでに小型・高出力化や排ガス低減などの新たな技術を導入したエンジンが登場し、多くの気動車に搭載されています。ここで、旧国鉄時代からJR発足直後までの代表的なエンジンの変遷を表1に示します。

JR以降のエンジンは、建設機械や船舶用として開発されたエンジンをベースに鉄道用に一部設計変更したものが多くあります。それらは床下にエンジンを搭載するために、立形から横形に変更したものであり、ぎ装上の制約を受けた設計変更です。

エンジンの技術的な進化

以下では、旧国鉄とJRのエンジンの技術的な進化について触れていきます。

①燃焼室の改善

旧国鉄時代より長年、エンジンの燃

焼方式には予燃焼室式(図5)が用いられてきました。予燃焼室式は、主燃焼室上部に予燃焼室を設け、渦流をともなった空気と燃料に着火し、そこで起きた燃焼がさらに主燃焼室内に広がる2段燃焼を行う方式です。このため、燃料圧力の急上昇を抑えられ、燃料噴射ポンプやノズルへの負荷を低減し、ノッキングしにくくなるという利点がある一方、燃費や始動性が悪いといった課題がありました。

これらの課題を克服するために登場したのが、直接噴射式(図6)です。直接噴射式は予燃焼室をなくし、燃焼室に直接燃料を噴射する方式です。直接噴射式は燃料圧力が高圧となりますが、構造が簡単で熱効率がよく、寒冷時の始動性に優れています。その一方、燃

焼時の圧力が高圧のためエンジン部品に耐久性が必要という課題がありました。しかし、燃焼室内の高圧・高温に耐え得るエンジン部品が開発され、直接噴射式が実用化に至りました。

②燃料噴射装置の電子制御化

燃料噴射は大きく2つの要素で構成されています。1つは燃料を圧送する燃料噴射ポンプ、もう1つは噴射量を制御する燃料制御方式です。

旧国鉄時代の燃料噴射ポンプには列型ポンプが使用されており、燃料制御方式は電磁空気式でした。電磁空気式は、燃料噴射量を制御するために、エンジンから離れた位置にある燃料制御装置内にて空気で動かすことで、連結棒が動き、さらに燃料噴射ポンプについたガバナレバーを動かすという

機械的で複雑な機構でした(図7)。

JR移行後、電磁空気式に代わる方式として登場した燃料制御方式が電子ガバナ式(図8)です。車両情報とエンジン回転数などの情報を基にアクチュエーターでガバナレバーを動かし、燃料噴射量を制御する方式です。列型ポンプの横に設置可能となり、機構が簡素化され、応答性も向上しました。

さらに2000年代以降、コモンレール式(図9)という従来の燃料噴射ポンプ・燃料制御方式とはまったく異なる技術が導入されました。自動車業界では排ガス規制対策の1つとして1990年代から導入されています。列型ポンプに変わるものとしてサプライポンプとコモンレールで構成されます。サプライポンプから供給された燃料は蓄圧

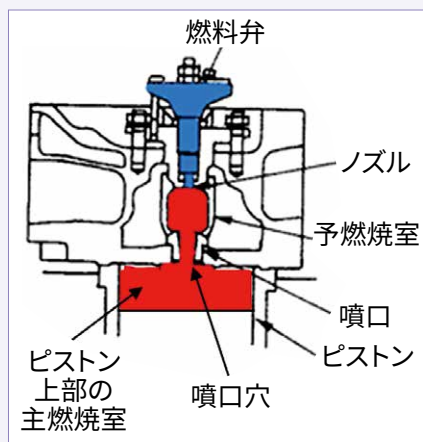


図5 予燃焼室式

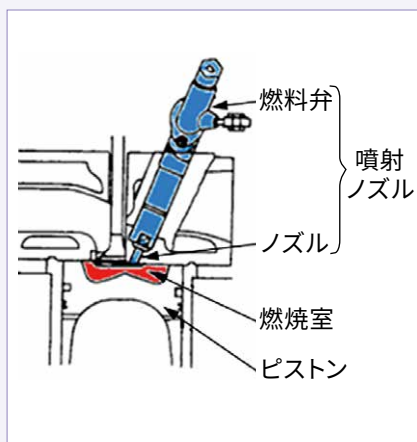


図6 直接噴射式

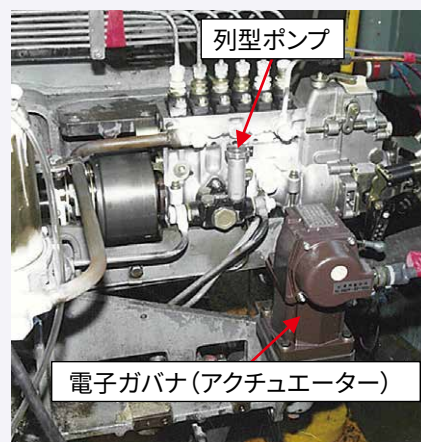


図8 電子ガバナ式

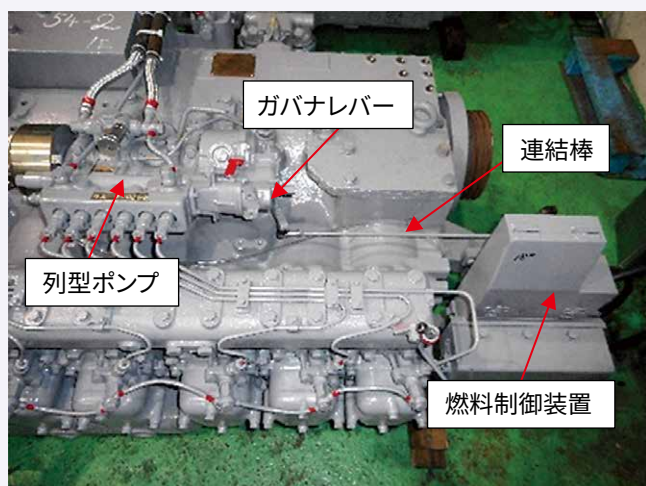


図7 電磁空気式(提供: JR四国)

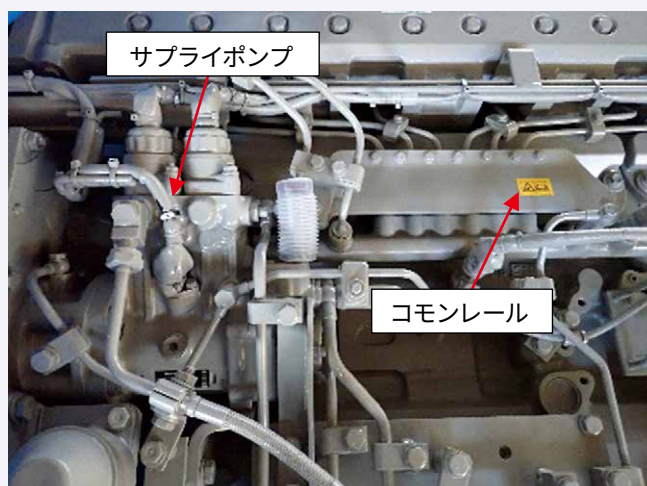


図9 コモンレール式

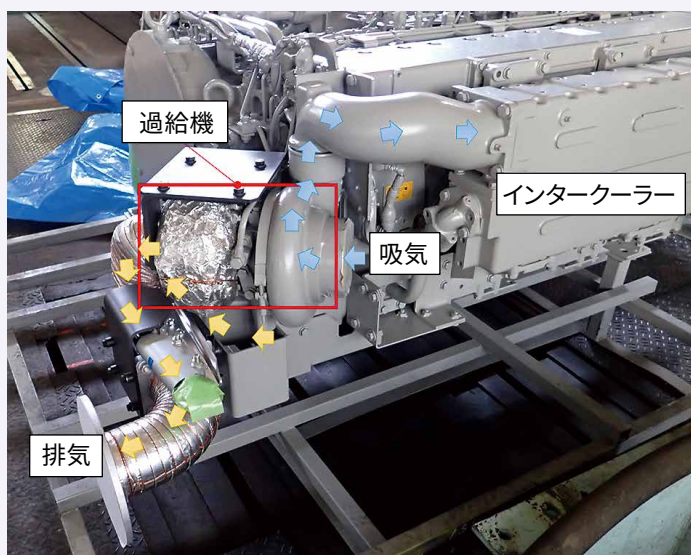


図10 過給機外観

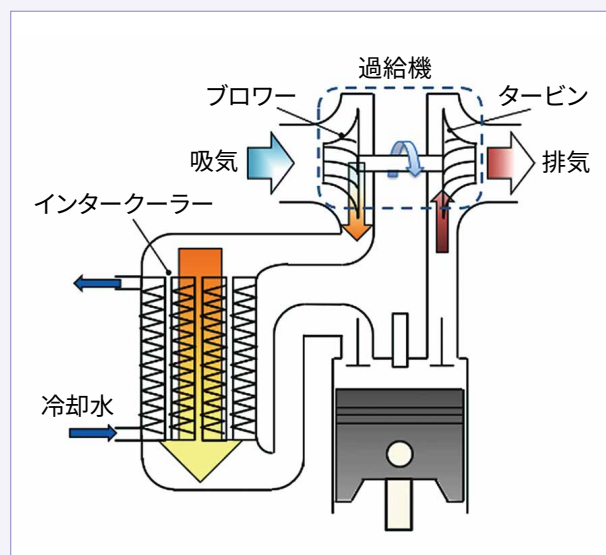


図11 過給機とインタークーラー

機能を備えたコモンレールで蓄圧・圧送します。また、燃料制御方式を電子制御化したことで、噴射量だけでなく、噴射タイミングも制御が可能です。

旧国鉄時代のエンジンの燃料噴射圧力と比べて、コモンレール式は10倍以上の圧力になっており、高圧とすることで燃焼室内に噴射される燃料が微細化され、燃焼効率が向上しました。また、電子制御化により噴射タイミングの制御が可能となったことで、1回の燃焼行程において、複数回の燃料噴射が可能となり、燃焼音低減や排ガス低減が図られました。

③吸排気系の改善

吸排気系は旧国鉄時代のエンジンと比べ、2つの点で大きく改善しました。

1つ目は吸気・排気弁の数です。旧国鉄のエンジンは吸気・排気弁ともに1本でしたが、近年のエンジンは吸気・排気弁ともに2本となりました。バルブの数が増えたことにより、有効面積が増加し、燃焼室に流入する空気が増加しました。

2つ目は過給機とインタークーラーの併用です。エンジンの高出力化には、圧縮比を高くして熱効率を高めることが有効です。圧縮比を高めるには燃焼

室内の最小容積を小さくするか、吸気時に強制的に空気を送りこむことが考えられます。吸気時に空気を燃焼室内に圧送することを過給といいます。さまざまな過給方法がありますが、鉄道で使われている過給方法は、排気ガスを利用したものです。燃焼室から排出された排気ガスでタービンを毎分数万回転もの高速回転で駆動し、タービンと同軸のプロワーはこの回転にともなって、燃焼室内に強制的に空気を送りこみます。このように排気ガスを利用して空気を圧送する装置を過給機(図10)といいます。

一方、過給機で空気を圧縮すると空気が100℃を超える高温となり、同じ圧力に対する空気密度が小さくなってしまいます。燃焼室内に供給する空気を冷却水などで冷やし、空気密度の低下を防ぐことが行われています。過給により高温になった空気を冷却することを吸気冷却といいます。図11に示す冷却水による吸気用冷却器をインタークーラーといいます。旧国鉄時代にも過給機を採用したエンジンはありましたが、現在では過給機とインタークーラーを併用したエンジンが広く用いられています。

今後の展望

旧国鉄時代に登場したDMH17形よりエンジンの技術は大きく進化し、小型・高出力化しながら動力の役割を担ってきました。しかし、今後はエンジンを動力としてきた気動車から、エンジンで発電機を駆動し、その電力で動くモーターを動力とする車両(ハイブリッド車両など)が主流となります。

今まさに気動車の動力がエンジンからモーターに代わる節目に来ておりますが、エンジンには発電用という新たな役割が与えられました。2050年のカーボンニュートラルに向けて軽油の代替燃料なども検討されており、まだまだ使われ続けると思います。

(高重達郎／車両制御技術研究部
動力システム研究室)

文 献

- 1) 高重達郎, 村上浩一: 気動車用ディーゼルエンジンの技術変遷, 鉄道ジャーナル, Vol. 54, No. 10, p. 26, 2020
- 2) 佐藤武雄: 気動車用エンジンの更新について, 車両と電気, Vol. 39, No. 7, p. 28, 1988