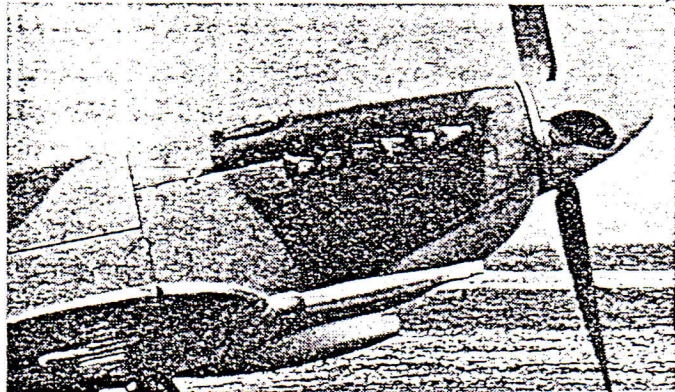
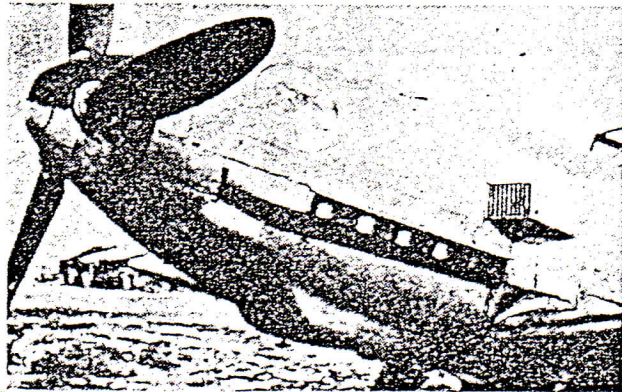


# 英・独 航空エンジンの 戦い



ロールスロイス・マーリン  
Vs.

ダイムラー・ベンツDB601

林 貞 助

## ☆ 各国エンジン設計の基本 ☆

航空戦力の優劣が戦争の帰趨を決めることは、第1次大戦末に、すでにその兆候が見られたが、特に第2次大戦では決定的となり、今日なおそれが続いている。

飛行機の飛行抵抗は速度の2乗と空気密度に比例し、エンジンから十分な馬力が保証される限り、爆撃機は出来る限りの高速度で侵入し、これを阻止する戦闘機及びこの敵戦闘機を追い散らして爆撃機を守る護衛戦闘機には、当然爆撃機以上の速度と上昇力とが要求される。

従ってエンジン技術者には、低い比燃料消費量(馬力当り)、高い信頼性、保守の容易さを保ちながら、最小の重量で、敵側のエンジンに比べてより高い高空でより大きい馬力を発生するエンジンを作り出すことが至上命令となる。

エンジンの開発というものは機体以上に困難なもので、設計から量産までには通例5年以上が必要だと言われる。3,000rpm(毎分回転数)内外あるいはそれ以上の高速回転中に、2回転に1回(4サイクルエンジン)あて爆発による1,800°C以上の高温高圧ガスで馬力を発生し、しかも航空エンジンとして本質的な軽量薄肉部分でこの温度、圧力から来る熱伸び、熱歪み及び部品相互間の高速摺動に耐えて充分な信頼性と寿命とを確保しなければならない。この困難さは、関係者ならずとも了解出来る。しかもこの難しさは、シリンダー径が大となればなるほど、ピストン直径の2乗以上の比で加速度的に増大して来る。現在に至るまで、極めてまれな特殊例を除

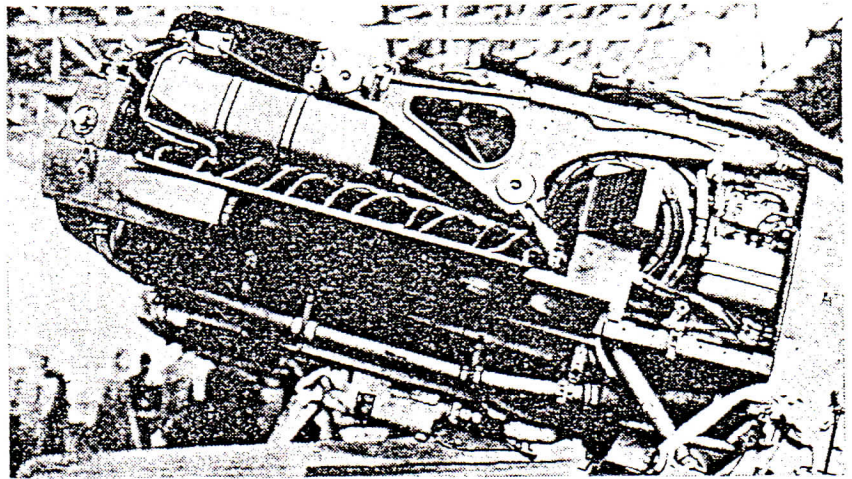
いて、シリンダー径が150mm以上を大きく超え得ないのはこの理由からである。

エンジンの出力は毎秒消費する燃料量に比例することは当然で、換言すると、その燃料燃焼への酸素供給源である空気が毎秒どの位エンジンに送り込まれるかによって発生馬力の高低が決まる。この毎秒一定重量の空気を吸入し排気ガスとして排出するに当たり、エンジンとして(イ)大シリンダー径、低速回転方式で行なうか、(ロ)小シリンダー径、高速回転方式を採るか、あるいは(ハ)中間の、中シリンダー径、中速回転方式によるかは、すべてエンジン設計者の決定に委ねられる。平均的に見て第1次大戦時においては、(イ)がドイツ方式、(ロ)がフランス方式、(ハ)が英国方式であったが、奇妙にも1933年9月の独ナチス再軍備宣言前後に始まった各国の新エンジン開発に当たっても、それぞれこの傾向を示した。創造を旨とする技術も、結局は彼等を取巻く技術の伝統や国民性の影響をまぬがれ得ないものなのであろう。

上の(イ)(ロ)(ハ)の設計方針の功罪については追々に後述するが、端的に言えば、(イ)はシリンダー及びピストンの冷却が悪く、燃焼ノッキングを起こしやすく、許容吸入管圧(許容ブースト圧という)が低い反面、エンジンの比重量(馬力当り)、比燃料消費量の両者が共に小さくなる。(ロ)はシリンダー及びピストンの冷却が良く、燃焼ノッキングを起こしにくく、許容ブースト圧を高められる代りに、比重量及び比燃料消費量がいずれも大きくなる傾向を持つ。(ハ)は総てが(イ)と(ロ)の間に来る。

各エンジンの設計比較論に入る前に、まず顧慮しなけ

＜第1図＞メッサーシュミット Bf109 Eに装備された DB601 エンジン。空気吸入口の内側に過給器が見える。



ればならないのはドイツ側の事情である。1919年に第1次大戦に敗れて後、ナチスの再軍備宣言に至るまで約15年間の航空エンジンに対する空白期間があったことで、新エンジンの試作開発に当たった技術者達が比較的若く、逆にそのことが、かなり奔放な設計設定につながったのではないかと推定されることと、大戦中の日本と同じく、耐熱鋼材や強度用鋼材等に欠かせないニッケルとアンチノック価の高い高オクタン価燃料との各保有量が少なく、大戦に突入してから英米側のエンジン材料が追々良質化して行くのに反し、日独では日増しに劣悪となり、これらが戦時下の熾烈なエンジン性能向上と生産増大に対する大きなマイナス要因になったことである。

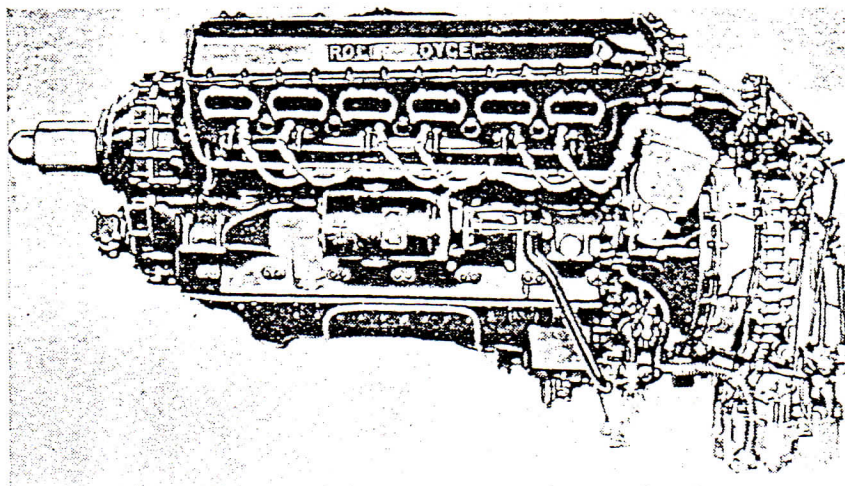
### ☆ 両エンジンの技術的解剖 ☆

前説はこれくらいにして、航空兵力のうち最優先的な性能が要求される戦闘機的主力エンジンの代表として、ドイツのダイムラー・ベンツDB601エンジン（第1図）と、英国のロールスロイス・マーリン・エンジン（第2図）とに的を絞って、両水冷エンジンの設計技術的内容とその得失について述べてみたい。

マーリンとDB601とは共に基本エンジンとして水冷12気筒V型である。戦闘機用エンジンとしての水冷、空冷（星型）の優劣については大戦前から論争の対象であった

が、端的に言って両者の差は、星型空冷は装備時の飛行抵抗がやや大きい比重量が軽く、生産及び使用時の取扱いは楽で、軽いかまたは同重量ならばより高馬力のため機体の上昇速度でやや優る（急降下による水平速度増大につながる）のに対し、水冷は飛行抵抗が少なく、垂直降下時の終速度がより大きく、また同馬力では水平飛行速度で若干優る可能性を持つ代りに、生産及び使用時の取扱いが難しいといったところである。結局、両者の得失には機体設計者の腕次第の余地が残されており、出力のやや大きい空冷星型エンジン機が水冷エンジン機と対等に闘い得た実例をFw190に見る。

独の高出力星型空冷としては、大戦前に平凡なジエームス社製の中出力単列星型空冷以外に見るべきものなく、本来空冷の基盤を持たなかった国である。その後、BMW社がナチス空軍再建発足時の水冷エンジンコンテスト（まず700hp級のDB600、ニモ210、BMW116の三者の供試）に敗れてから、民間機用に米国P & W社のホーネット・エンジンのライセンス生産型BMW132シリーズを母胎とする801シリーズ（14気筒星型）及び802シリーズ（18気筒星型。実用化されず）を生み出したが、シリンダー頭部の冷却法とクランク軸構造にヒルツ歯結合（現在ジェットエンジンなどに多用され、カービックカップリングと称せられているもの）を用いた独自の方式を採った以外にこれといった点はなかった（諸物はききれいで



＜第2図＞スピットファイアに装備されたロールスロイス・マーリン・エンジン

あったが)。

さて、DB601エンジンはDB600の発展型だが、これ等を含み、ドイツの水冷が総て倒立V型式を採ったのには面白いニピソードがまつわっている。1933年1月(同時期にヒトラーが独首相となる)にロールスロイス社が、シュナイダー杯水上機速度競技優勝機のスーパーマリンS6(1929年)及びS6B(1931年)に装備されて成功した“R”エンジンを母胎として、空軍用1,000hp級エンジンの自主開発に着手した際、倒立12V型も併せて設計しその木製模型を各機体メーカーに回覧したが、折から中英中のドイツ技術視察団がこれを見付けて詳しく検討して帰った。これがドイツ水冷の倒立V型採用の因となった、とロールスロイス社資料に書かれている。英国ではこの倒立V型式を機体メーカーがいずれも同意せず、不採用となっている(おそらく、未経験の形式の採用を機体側が拒んだのではないかと見られる。昭和8年頃、川崎航空機工場が見本輸入したフランス・ファルマン社試作の水冷400hpも倒立12V型であったが、下述のようにシリンダー燃焼室への滑油の流下が多いように見受けた)。

倒立型の可否論議を含め、DB601の設計上の特徴を項目別に記すと、

〔1〕 上記のように、倒立12気筒V型水冷であること  
この形式の利点として挙げられていることは、

(a) パイロットの視界が良くなること

(b) 冷却水が左右各シリンダーブロックの最下部(倒立型なので、最高温の燃焼室頭部側が最下部となる)から入り、水温上昇と共にブロック上方(シリンダー<sup>ノズ</sup>側)に向かって上昇し(自然対流の理にかなう)、冷却上有利になること

(c) 排気管がエンジン下方に位置し、夜間飛行時に排気炎がパイロットの視界を妨げることが少ない(マーリンを搭載したホーカー・ハリケーンの一部は、かなり大きい排気炎遮視板を取り付けていた)

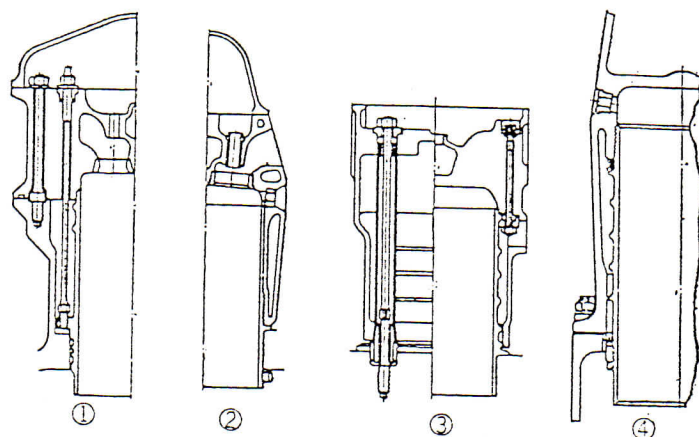
などであるが、逆に欠点としては、

(a) ピストンを経て、シリンダー最下部の燃焼室側へ漏過する滑油量の過多(後述の過給器の液体接手における高温蒸発量を加え、滑油比消費は、10~12g/hp/hに達する。普通の3倍内外)

(b) 正歯輪外噛合式減速器を用いた場合(プロペラ軸中を通して射撃できるモーターカノンの装着が可能。ただしエンジン振動のため命中率不良)、倒立型ではプロペラ軸線が下方に来るため、降着装置の脚柱が長くなる(正立型のマーリン・エンジンではこれが短くなる)などが考えられる。

〔2〕 一体鑄造シリンダーブロックと乾式ライナー方式

シリンダーブロックをシリンダー頭部、胴部の総てを含み一体に鑄造し、その各シリンダー胴内に薄い銅製円

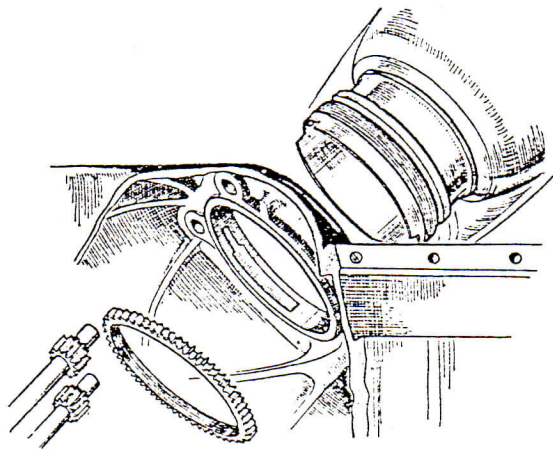


<第3図>①：ユンカース・ユモ②ダイムラー・ベンツ、  
③：ロールスロイス、④：イスパノスイザ各エンジンの気筒

筒ライナーをはめ込む、いわゆる乾式ライナー方式(水がライナー外周に直接触れない。第3図②)の構造を採っている。これは第1次大戦時のイスパノスイザ8V(150~220hp)のその亜流であり、DBエンジン以外は、ユモ・エンジンを含め総て湿式ライナー方式(水がやや厚肉のライナー外周に直接触れる。第3図①、③、④)であって、この湿式ライナーの場合、ライナー頭部の燃焼室壁とのジョイント部分のガス密(爆発ガスに対する)に注意せねばならない。これに対し図の③の乾式ライナー方式では、その必要がない代わりにシリンダーブロック鑄造が難しく(鑄巣が多発)、さらに何よりも問題なのは、各シリンダー部分を囲む肉部が総て隣接シリンダーの内部と一体に連っているため、エンジン運転時の高温部分(特に燃焼室周囲部分)の熱伸び、熱ゆがみが隣接シリンダーのそれ等と押し合って弁座を変歪させ、特に排気弁の焼損が頻発することである。

陸軍向けのDBエンジンの国産化を担当した川崎航空機工場(大戦中、筆者が勤務)でも、シリンダーブロック鑄物の不良(鑄巣過多)、排気弁焼損に困らされた。ロールスロイス社自身、マーリンの前身、ケストレル・エンジンでこの②図の方式の一体鑄造型シリンダーブロックを試み、排気弁焼損頻発その他の欠陥をつとに経験済みで、当時イスパノ社に急いで人を派遣して意見を聞き、ロールスロイス社はもちろん、イスパノ社自身もその後この一体鑄造・乾式ライナーのシリンダーブロック構造を棄てている事実がある(第3図④参照)。

DBエンジンがシリンダー構造に図の③方式を採った時、上述の倒立12V型採用の点も含めて、ロールスロイス社はこれを冷やかに見守っていたに違いない。マーリン・エンジンのシリンダーブロックでは、シリンダー頭部と胴部とを分離した鑄物として頭部の熱ゆがみの発生を避けただけでなく、さらに徹底して、頭部の相隣接するシリンダー燃焼室外壁をシリンダーとシリンダーとの中間位置でカッターで切断して、隣接シリンダー相互の熱伸び干渉を断ち切っている点や、燃焼室への湿式ライナー取り付け用ボルトとシリンダー頭部、胴部、クランクケースの三者を結び付けるボルト(爆発ガス圧による大きな張力がかかる)とを分けて2本立てにしている点(こ



＜第4図＞DBのシリンダーブロックの取付け

うすると、湿式ライナーの燃焼室壁へのジョイント部のガス密が楽になる)は、いづれも見事という他はない。

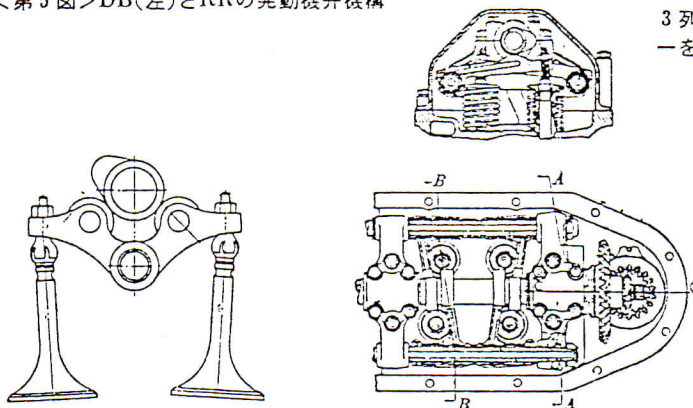
ただ、DBエンジンの乾式ライナー構造として巧みな点は、乾式ライナーのシリンダー胴部内面への螺入を低温のシリンダー裾端のねじ部で行ない、高温のシリンダー頭部側は接触の良い平当りとしている点(第3図②参照、ライナーから水への熱伝導が改善される)と、シリンダーブロックのクランクケースへの取付けに第4図に示すようなねじ環を用いている点(ライナーの真円度保持に有効)は、いづれも新工夫というべきであろう。しかしDBエンジンにおいて、燃料噴射装置が左右シリンダー列の中間に置かれているためだと思いが、各シリンダー2個の点火栓を2個共各シリンダーブロックの外側に装着していることは、燃焼の円滑化の点からはマイナスで、これを点検に便利と称しているのは頂けない。出来れば、マーリンのようにシリンダーの内、外両側に対向して取り付けるのが望ましい。

〔3〕 弁作動機構(第5図)

DBエンジンの弁作動機構は図示の通り、1シリンダー当り吸2、排2の4弁のうち、それぞれ対向位置にある1セットの吸・排気弁を、共通に1つのカムで作動する極めて独自の方式で、一見単純明快な新奇手に見えるが、実は少し行き過ぎの感が深い。

高回転の高性能エンジンでは、吸・排気弁の開き期間の選定は極めて重要なもので、吸排気弁両者の所要開き期間にかなりの差がある。ところがDBエンジンでは、

＜第5図＞DB(左)とRRの発動機弁機構



1個のカムで吸・排気弁を作動するため、この開き期間の差を、それぞれの弁軸頭とカム作動面との間の遊隙の差で生じさせなければならない。この遊隙は吸気弁軸頭で0.3mm(エンジン冷態時)のまづまづの値であるが、排気弁のそれは0.5~0.6mm(同じく冷態時)もあり、高速回転時に高温のこの弁の弁座面への着座衝撃が過大となる。これに対しマーリンの弁機構は、同じ第5図に示すように1弁1カム方式で、かつ機構の姿も誠に端正である。良き設計とすることができよう。

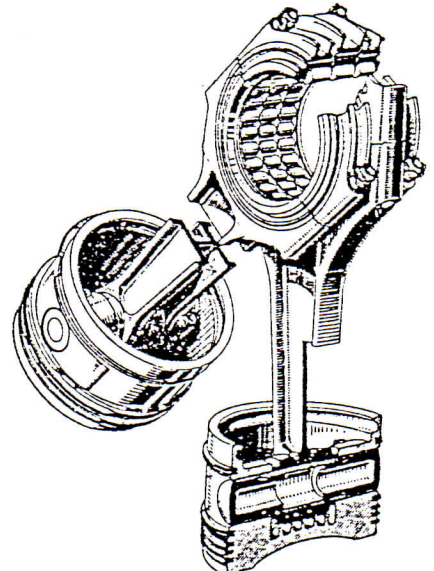
〔4〕 クランクビン部(主連接桿大端部)のローラー軸受け方式(第6図)

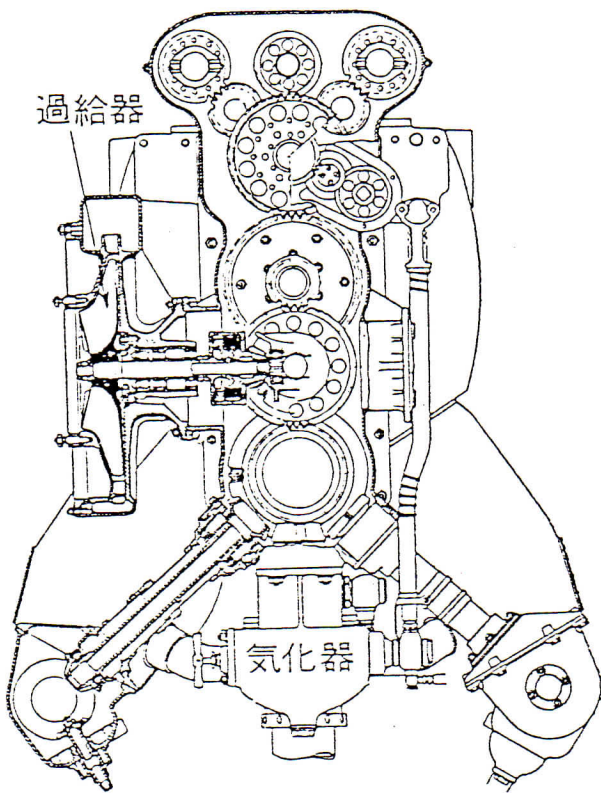
この部分に3列計72個のローラーを用いた軸受けを使っているのはこれまた行き過ぎて、平軸受ですむ所である。飛行船「ツェッペリン伯爵」号の大型低速のガスエンジンに成功した手法を徒らに高速エンジンに持ちこんだものだが、このためにエンジンの生産及び整備をどれだけ阻害したことか。ただ設計者の読みがそこまで届いていたかどうか分らないが、このエンジンは他の部分にも多くのボール、ローラー軸受を使っており、そのおかげで、エンジン停止前に滑油タンクに燃料を混入して滑油粘度をあらかじめ下げしておく措置と相まって、エンジンの冷態始動後わずか7秒以内に発進出来たといわれる(普通は滑油温度が40°になるまで待機)。マーリンはもちろん、ドイツ側のエモも平軸受のままであった。

〔5〕 過給器のエンジン後側面上方への装着(第1図、第7図)および、液体接手による可変速駆動(第8図)

ドイツの水冷エンジンの総てが過給器をエンジン側面に装着した理由としては、エンジン全長の短縮、過給器点検の容易さを狙ったものと解せられる。しかしこのために、過給器外径が過小に制限されて効率が悪かったこと(同じ翼車1段同士で、マーリンに比し地上吸入管圧維持高度一等圧高度という一で、3,000mに近い差が出たといわれる。ロールスロイス社資料による)と、大戦中期以降の高空馬力獲得競争でマーリンが2段2速過給

＜第6図＞DB601のクランクビン部のローラー軸受け。3列72個のローラーを使用している



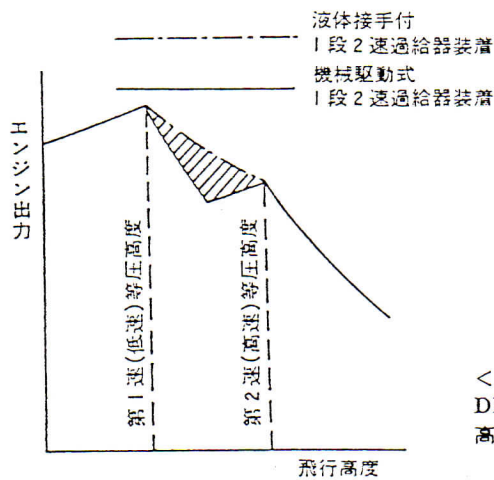
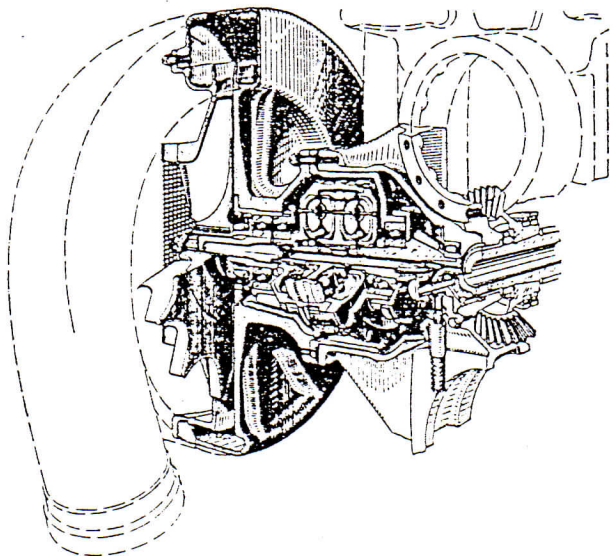


<第7図>DB600の過給器装備位置

器を実用し得た（マーリン20型）のに対し、その奥行き寸法の大きなものをドイツの水冷エンジン総てが、過給器のエンジン側面配置のために取り付けられなかったことは、いずれもドイツ側の大きなマイナスとなった。

上述のように、エンジン出力は毎秒エンジンに押し込まれる空気重量に比例する。高い高空馬力が欲しければ、高い圧縮比を持つ過給器で圧力を、従って密度を高めた空気を吸気管に送り込めばよい。ところが地上付近では外気密度が高いから、過給器圧縮比は低めてその入力を減らした方が、エンジン出力側が増大して得策である。過給器の圧縮比は、その翼車の回転周速度の2乗に比例する。すなわち理想的な過給器駆動法とは、地上から高空に到るに従って翼車回転数（圧縮比）を増して行く無段変速駆動法であることは、誰にもすぐ了解出来よう（排

<第8図>DB601以降に装備された液体接手機構



<第9図>  
DBエンジンの  
高度馬力曲線

気ターボ過給器も、その駆動タービンが背圧の低い高空に行くほど馬力を増し増速するから、理想駆動方式の過給器に近いが、クランク軸とは無関係な形で存在しているため、エンジンの出力増減がエンジンスロットルの開閉に遅れるので、戦闘機には不向きとして使われず、唯一の実用例はP-47サンダーボルトのみである。英、独双方が排気エネルギー利用には推力排気管を用い、エンジン軸馬力へ10%以上のプラスとなった。なお、ロールスロイス社側では排気ターボ過給器を用いても、等圧高度（前出）が9,000m内外止りになるのに対し、機械駆動式2段2速過給器ではそれを12,000m前後となし得たと発表している。

DBエンジンの過給器の液体接手駆動は、上記の無段変速駆動法の実現をねらい、滑油ポンプ2個で接手内に存在する滑油量（発生駆動馬力に比例）を加減しようとしたものだが、色々な制約があり、これを用いたDBエンジンの高度馬力曲線は第9図に鎖線で示すような実質的には1段2速過給器付きエンジンのそれに近いものとなった。接手内の油泥の蓄積や、軸受間隔過小によるセンターリングの困難等、整備者泣かせの割に実効度の少ないものであった。それでも第9図のハッチング部分で、機械駆動式1段2速付きのものよりもエンジン出力が大きく、このあたりがバトル・オブ・ブリテン後半でマーリン側が、急ぎょ1段2速過給器の翼車回転数を増大した型を、続いて2段2速過給器付きの20型を送り出した原因であろう。なお第9図で、出力曲線が1速、2速の各等圧高度点から低空に向かって左下りになっているのは、低空になるほどクランクケース内部圧力（ピストン裏面側圧力）が増えて、出力が減るからである。

#### [6] 燃料のシリンダー燃焼室への直接噴射方式

独空軍新発足に当たっての供試水冷（DB600、ユモ210その他）は、いずれも普通のフロート室（燃料表面の高さを一定に保持するためのもの）付き気化器であったが、その後、BMW801星型空冷を含め、ドイツの総ての高出力エンジンに用いられて大きな成果を上げたのがこの直接噴射方式で、ドイツ伝統のディーゼル技術が物を言ったのであり、戦闘機用エンジンに対しては優れた着想である（大戦後、P&W社およびイスパノ社が追随してこ

の方式を採用した)。噴射ポンプそのものはブランジャー潤滑に注意を払っただけで、この方式の利点は、

- (a) 厳寒時にも始動極めて容易
- (b) 気速発進可能
- (c) 飛行機の姿勢、動作のいかにかわらぬ出力無変化
- (d) 各シリンダーへの給気の混合比統一化

等である。特に(c)は戦闘動作に極めて大切な利点で、バトル・オブ・ブリテン初期、普通のフオート室付き気化器装備のスピットファイアがDB601A搭載のBf109に振り回され、急いでフオートレス気化器(燃料をスコットル前に低圧噴射。燃圧調整はメンブランによる)に取り替えて対抗したエピソードを残すものである。ただロールスロイス側では、過給器の入口側に気化器を取り付ける形式を最後まで残したが、これは気化器から送り込まれる燃料滴の蒸発潜熱で圧縮中の混合気温度を下げ、過給器効率向上、等圧高度増大、シリンダー燃焼室内の燃焼軟化をねらったもので、このメリットは燃料直接噴射方式にはないとロールスロイス社側では指摘している。それぞれの見解であろう。

#### 〔7〕 エンジンの加圧水冷法

冷却液のエンジン冷却水套出口における温度を高めることは、引いてはラジエーター面積の縮小、飛行抵抗の減少につながるが、マーリンが初期に純エチレングリコール液による“高温冷却”(110°~120°C)を採ったのに対し、DB側はグリコール液よりも冷却能力の高い水を用い、冷却水套内で約3.8気圧に加圧(蒸気発生を抑える)する加圧水冷却(120~125°C)を用いて成果を上げた。詳述を省くが、渦巻型蒸気分離器内の蒸気の発生許容による水温低下策など巧い工夫であり、マーリン側も追従して加圧水冷に替えた。

以上、DB601の構造上の特徴をマーリンの構造と対比しながらコメントして来た。最後にマーリンの構造的な特徴を総括して述べると、ただ一度だけ単シリンダー実験での好性能を理由に、上面を傾斜させた“屋根型”と称する燃焼室を軽卒に採り込んだマーリンI型の失敗は別として、外観、細部を通じて、極めて端正な形がマーリンII型以降の特徴(機体と同じく、エンジンでも良い形のものが高性能)であり、中圧縮比、高ブースト圧(高吸気管圧)を方針とするやや高速の中径シリンダーのエンジン(全容積27l)であった。同時に同じ1,000hp級をねらったDB601の新奇さのやや過剰な、高圧縮比、低ブースト圧を方針とする比較的低速の大径シリンダー(全容積33.9l)とは対蹠的である。最後の締めくくりとして、この辺の功罪を検討して見よう。

かねて私も気付いていたが、マーリンには終始、頑固に守り続けていた一つの設計指針がある。それは、大戦中の激烈な高空出力増大競争を通じて、シリンダー圧縮

比を高性能エンジンとしては低い6.0(DB601A:6.9, 同E:7.2, DB603及び605:7.3~7.5)なる値を確持し、出力向上には、専ら吸入管圧(ブースト圧)増大と、アフタークーラー(過給器出口側に置いたクーラー)による吸入管への給気の冷却とを用いた(共に吸入管内の混合気密度の増大につながる)手法を守り続けて来たことである。シリンダー圧縮比が低いと、ノッキングのおそれなしに高許容ブースト圧が用い得られ、一方シリンダー内の圧縮終りの時の燃焼室容積が大きくなり、それへ許容高密度の混合気を充填するわけだから、爆発によるシリンダー単位容積当りの馬力は、大径シリンダーの高圧縮比、低ブースト圧(ノッキング防止の見地から大径シリンダー径では大きく取れない)のそれに比べて遙かに大きくすることができる。

すなわち、比較的の小容積のエンジンでも前者マーリン側の方針なら、エンジンのサイズを変えずに出力を加速度的に向上し得る(ロールスロイス社の、マーリンと同じ圧縮比6.0の“R”エンジンの経験を踏まえての方針であろう)。その代りこの場合、過給器に要求される圧縮比は出力向上(ブースト圧向上)につれて急激に増大して来る。マーリンが2段2速過給器にまで持って来ざるを得なかった一因であろう。

一方、大シリンダー径、高圧縮比、低ブースト圧の型式(DB601)では、シリンダー単位容積当りの馬力は本来低目なのに、その馬力向上はすぐ限界に来て、エンジン容積を拡大せねばそれ以上の馬力向上は得られない羽目になる(DB601→603)。その代り、許容ブースト圧が低いのが逆に幸いして、過給器のサイズこそ馬力向上に応じて少し大きくなるが、その必要圧縮比はいつも低目で済む。この辺が、DB側が1段2速程度の過給器である程度闘い得た秘密であろう。両方向のいずれが良いかそれほど明確な優劣評価は出来ないが、常に馬力向上の余裕度の多いのはマーリン側の方針と思われる。

以上、英独両国の設計思想の差を構造論を交えて述べて来たが、戦争中はどの交戦国でも、開戦当初のエンジン以外に新規に開発する余裕はなく、大戦中期以降はマーリンの過給器改善は別として、独、英とも燃料側の改良[87オクタン→92オクタン→100オクタン、それぞれの燃料への4ニチル鉛の混入およびその混入率の増大、イソオクタンへのアンチノック剤混入による120~130オクタン、モノメチルアミンの添加(2.5%)、水噴射または水、アルコール混合噴射(アンチノック増大と給気冷却)、一酸化窒素の吸入管内噴射(ドイツが先用。マーリン例:190hpプラス)]等で高空出力増大競争を行なった(このあたりになると、各資料の示す出力値は一定していない)が、ドイツ側は先細に敗戦に追い込まれ、戦争年間の一定のエンジンの馬力向上率も、英側の2倍強に比し、ドイツ側は1.6~1.7倍程度に終わった。