

川崎BMW VI型航空発動機について

坂上 茂樹

Type	Technical Report
Textversion	Author
Note	この資料の使用は、私的使用の目的にかぎります。 This article may be downloaded for personal use only.

Placed on: Osaka City University Repository

川崎 BMW VI型航空発動機について

On the BMW VI Aircraft Engines

坂上茂樹

はじめに

1. BMW における直列ならびに V 型航空発動機の開発
 2. 川崎 BMW VI型航空発動機の本体構造
 3. 川崎 BMW VI型航空発動機の補機
 4. 川崎 BMW VI型航空発動機の整備
- むすびにかえて——川崎 BMW VI型航空発動機についての評価
- 補足 BMW IX型の機械式 1 速過給機に係わる航空研究所での実験

はじめに

第一次世界大戦の敗戦国ドイツはヴェルサイユ条約によって軍用航空、軍用機・軍用転用可能な商用機の製造、100馬力を超える航空発動機の製造を禁止されるなど、本格的な航空事業を抑圧され、航空不遇の時代を余儀なくされた。しかし、諸国家の背後に富と権力の集中と人口削減とを不断に画策し、戦争をそれに向けた第一の捷徑と心得る支配層が存在している限り、端から左様な条約に長い効力など期待出来る道理は無かった。果せるかな、1926年秋、'28年春と、ドイツに対する航空制限規定は段階的に解除され、ドイツ航空再興の勢いは'33年1月、支配層に支援されつつ政権を獲得したナチスに依る空軍再建宣言、航空省の設置、ドイツ航空スポーツ聯盟の組織化へと電撃的展開を示して行くことになる¹。

ドイツを代表する高速機関メーカー、Daimler と Benz とが '26年に合併して Daimler-Benz を形成したことは同条約のなし崩しの失効を象徴するエピソードの一つである。しかし、その数年前には同じドイツにおける有力航空発動機メーカー、Bayerische Motoren Werke A.G.が本格的な航空発動機開発へと歩を進めていた。その成果こそが水冷 V 型 12 気筒、無過給の BMW VI型航空発動機である。

BMW における第一次世界大戦期の直列 6 気筒、III型以降の直列ならびに V 型航空発動機開発史については既に拙稿を通じてその概略を紹介しておいたが²、本稿はこれを承け、同時

¹ 不遇時代のドイツ航空技術界における状況に一端については拙稿「ピストン航空発動機の進化」(共に→IRDB)、参照。この間、Junkers Flugzeug-und-Motorenwerke A.G.が手を染めた抜け駆ける巨人機 G38 の開発については拙稿「三菱航空発動機技術史(訂正補足版)[I]」(→IRDB)、153~154 頁、参照。

² 拙稿「ピストン航空発動機の進化」(→IRDB)、140~141 頁他、参照。

代資料に依拠しつつ、BMW VI型航空発動機について今少し掘下げ、併せてその初期における進化の痕を追ってみようとする試みである³。それは旧稿において三菱イスパノ発動機のライバルとしての角度から言及されていたが故に、本稿は旧稿に対する補足ともなっている⁴。

1. BMW における直列ならびに V 型航空発動機の開発

BMW 直列および V 型航空発動機は低空において吸気絞りをを行い、高空で全開とする無過給過大発動機の仲間属した。第一次大戦当時、その代表格は Junkers D・I 型戦闘機等に搭載の III 型(6L-150×180mm, 185PS/1,400rpm.)で、出力的には IIIa 強力型の 220HP/1,400rpm. が頂点であった。V 型 12 気筒、最大 400 馬力を叩き出したアメリカの *Liberty* などには遠く及ばぬとは言え、III 型は軽快機に好適な発動機として存在感を発揮していた⁵。

BMW 発動機として初の 400 馬力級は離昇出力 395PS/1900rpm(最大許容連続出力 350PS)を発揮する Va 型(6L-160×190mm)である。敗戦後の航空事業制限の中、III 型のボア・ストロークを 10mm 延長した IV 型(250PS)が '21 年に登場し、その発展型が Va となったワケである。然しながら、この大出力直 6 系統がメジャー化する成行きとはならなかった。

それはこの間、BMW 航空発動機における主流が爆撃機などに用いられるやや鈍重な V 型 12 気筒へとシフトせしめられていたからである。即ち、'20 年代中葉以降、IIIa を 12V に組んだ V 型、IV 型を 12V に組んだ VI 及び VII 型といった 60° V 型 12 気筒発動機(360~440PS)が投入されて行った。

とりわけ、本国における VI 型の製造は '38 年まで継続され、その累計生産台数は 9200 基以上と見積られている。BMW VI 型の小改良型が VII 型で、これに機械式 1 速過給機を附設したのが IX 型であるが、VII 型、IX 型共にその量産規模は大きくなかった⁶。

³ 以下、本稿の記述は主として所澤陸軍飛行学校『発動機工術教程(ベエムベ四百五十馬力発動機取扱法)』1930年9月(以下、単に『教程』と略記)、内丸最一郎『内燃機関(後編)』丸善、1931年、810~815頁、に拠る。後者で扱われる川崎 BMW VI 型は 500 馬力型である。

⁴ 前掲拙稿「三菱航空発動機技術史(訂正補足版) [I]」、参照。 *Liberty* についても拙稿「ピストン航空発動機の進化」、参照。

⁵ BMW IIIa 型(185PS/1400rpm)について、邦語文献では、海外紹介論文の紹介ながら、三菱内燃機技師 山下誠一「Der 185 P.S. Bayern-Flug Motor に就て」『航空研究所雑録』第 1 巻 第 3 号、1922 年 10 月、が最も詳細である。

⁶ 小川清二『航空発動機(上)』改訂版、河出書房、1944 年、289~294 頁、Bill Gunston 見森昭・川村忠雄訳『世界の航空エンジン ① レシプロ編』グランプリ出版、1996(原著 1995)年、41~42 頁、参照。BMW VI 型 12 気筒発動機は 1924 年に川崎航空機にライセンス導入されている。従って、'26 年に開発されたというガンストンの記述は誤りかと想われる。なお、川崎 BMW IX 型発動機は「航研機」用発動機のベースとなった。川崎 BMW VI 型、同 IX 型もハ 9 系量産発動機も実用機としては旧時代の陸軍機にのみ採用された。

わが国におけるライセンス、川崎(川崎造船所→川崎航空機工業)ではVI型ベースのハ 9-I が約 1200 基、IX型ベースのハ 9-II が約 300 基、製造された。VII型の生産規模が根っから小さかったのは'28 年というその投入時期が大不況直前であったことに、IX型のマイナーぶりは'30 年代を生き抜くには基本設計が旧弊に失したことに起因する現象であった⁷。

2. 川崎 BMW VI型航空発動機の本体構造

表 1 に川崎 BMW 450 馬力発動機の要目を掲げる。大柄な発動機で、その排気量は約 45.8L に達していた。残念ながら、外形寸法についてはこの『教程』中に記載を見出し得ない。

表 1 BMW 450 馬力発動機の要目

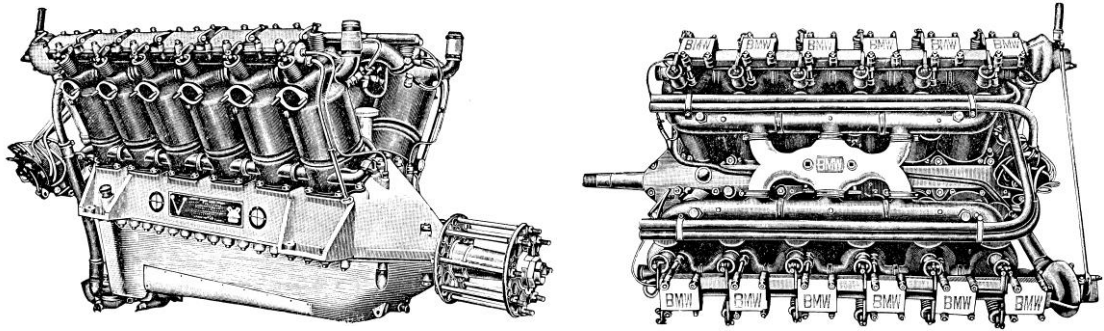
型 式	60° V 型固定水冷却	
氣 筒	12 氣筒 内径 160 耗 衝程 190 耗 【副連桿側は 199mm】	
氣 化 器	BMW 型氣化器	
發 電 機	「ボッシュ」GF 又ハ FH 型	
回 轉 数	常用	毎分 1250 乃至 1350 回轉
	最大	毎分 1550 回轉
回 轉 方 向	後方より見て右	
壓 縮 比	約 6.0	
發 動 機 全 重 量	517kg	
消 費 量	燃料	毎時約 120L (ガソリン 3, ベンゾール 2. 220g/PS-h 程度)
	滑油	毎時約 2~8L (10g/PS-h 程度)

『教程』巻末附表第一、()内は内丸『内燃機關(後編)』(500 馬力型)、より。【】内筆者補足。

図 1 は 1925 年に投入されたと伝えられる BMW VI型の 500 馬力モデル(川崎製)の外観を示す。450 馬力型に比しても外観的にはそれほど大きな印象上の違いは無かったであろう。そのサイズについて内丸は全長 1830mm, 全高 1057mm, 全幅 0.844m, 乾燥重量 535kg, 冷却水総容量 19L, クランク室内潤滑油重量 6kg, と記している。

図 1 川崎 BMW 500 馬力発動機の外観

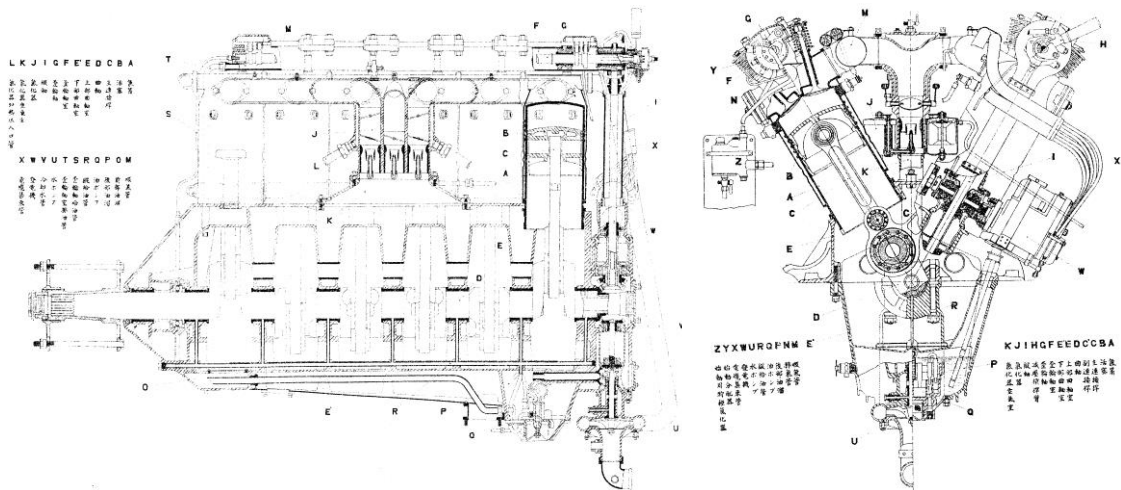
⁷ 川崎での生産台数については日本航空学術史編集委員会編『日本航空学術史 (1910-1945)』1990 年、432 頁、より。



内丸『内燃機関(後編)』811頁, 第717, 718圖.

図2は当初型, 川崎 BMW 450 馬力発動機の縦・横断面図である.

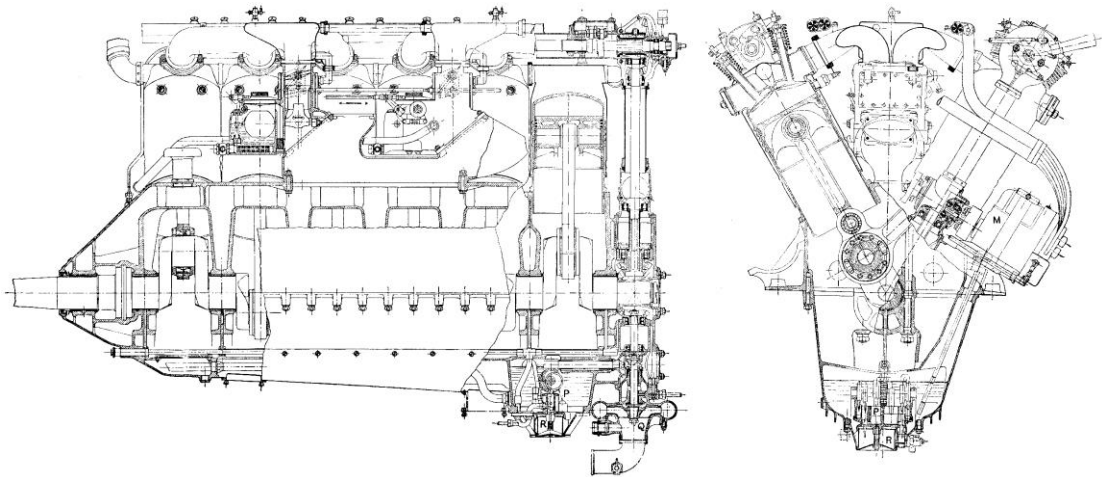
図2 川崎 BMW 450 馬力発動機断面図



『教程』巻末附図.

図3は川崎 BMW 500 馬力発動機の縦・横断面図である. ピストンヘッド形状や気化器における相違が確認出来る(平頭化と Zenith 気化器の採用). 気筒体の高さを詰めて 450 馬力型と同等以上の圧縮比が設定されていた点も窺われる. ロッカーケースの設計も変更されている. 残念ながら, クランク軸スラストベアリングの異同については不明とせざるを得ない.

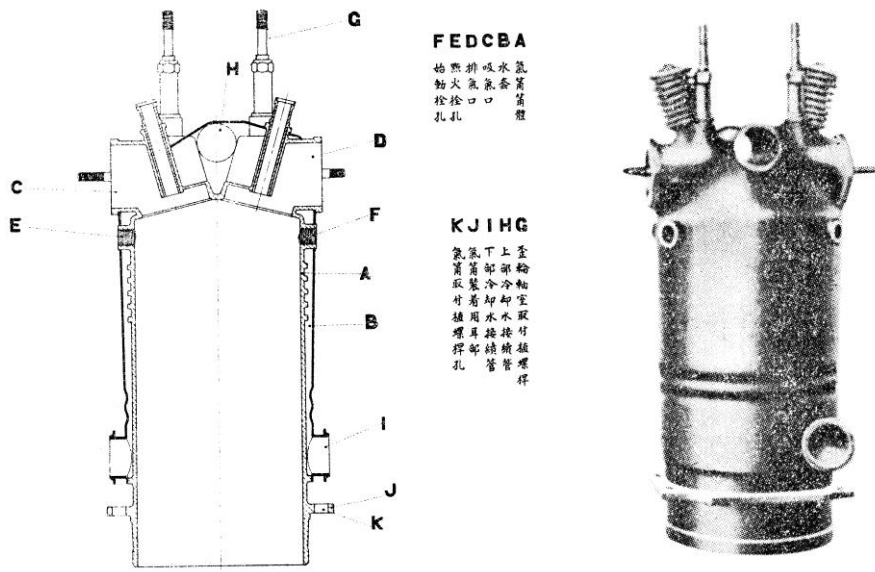
図3 川崎 BMW 500 馬力発動機部分断面図



内丸『内燃機関(後編)』812 頁次, 第 719, 720 圖.

図 4 に見る川崎 BMW 450 馬力発動機の気筒は鋼製頭部一体鍛造削り出し品. $t = 1.0\text{mm}$ の軟鋼製水套を溶接. 吸排気弁挟み角 30° で, 点火栓孔 E は各 2 個. 気筒取付スタッドは各 8 本, 配されていた.

図 4 川崎 BMW 450 馬力発動機の気筒構造



『教程』2 頁次, 富塚編『航空發動機』共立社, 内燃機関工學講座, 第 9 卷, 163 頁, 第 112 圖.

表 2 には川崎 BMW 450 馬力發動機に用いられた鋼材とそれらの使用区分とが一括で示されているので, 参考にして頂きたい.

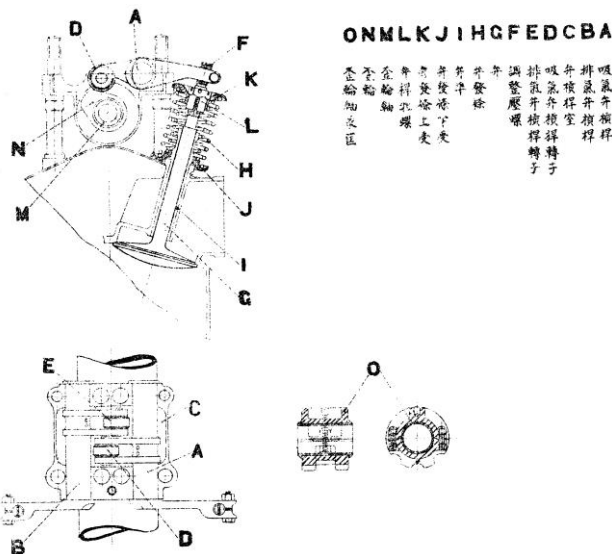
表 2 川崎 BMW 450 馬力發動機における使用鋼材ならびに使用区分

鋼種	化 學 成 分							機 械 的 試 験						熱 處 理	用 途 例
	炭素	珪素	錳	燐及硫黄	ニッケル	クロム	其他	弾性率 (kg/mm ²)	抗張力 (kg/mm ²)	最小伸長率 (%)	斷面收縮率 (%)	衝撃値 (kg/cm ²)	硬 度		
半軟鋼	0.25~0.40	—	0.20~0.60	0.03以下	—	—		30以上	45~55	20	—	9	140~180	焼鈍 800°C 空中冷却	排気管類, 同口管, 弁座, 外筒, 偏心帶輪, 螺絲類
半硬鋼	0.40~0.60	—	0.20~0.60	〃	—	—		32以上	55~75	16	—	4	160~190	〃	座板, 軸瓦, 調整條, 螺絲類
硬鋼	0.60~0.70	—	0.20~0.60	〃	—	—		38以上	65~80	10	—	—	190~220	〃	扱, 圓錐類
螺桿鋼	0.20~0.35	—	—	0.035以下	—	—		60~70	12	—	—	—	—	〃	螺桿類, 座板, 接手, 栓類, 其他
表面硬化用格依鋼	0.05~0.15	—	0.50以下	0.03以下	—	—		22~26	34~42	25	—	25	—	焼鈍 900°C 空中冷却	歪輪, ローラー, 栓類
表面硬化用ニッケル, クロム鋼	0.08~0.13	0.20~0.35	〃	〃	3.00~3.50	0.90~1.10		75以上	90以上	10	—	8	—	焼入 900°C油冷 焼入 750°C	主副連接, 活塞軸, 歪輪軸, 弁桿桿, 齒輪類
ニッケル鋼	0.30~0.40	0.30~0.40	0.20~0.50	〃	2.50~3.00	0.50~1.00		70以上	80以上	12	—	12	250~320	焼入 850°C油冷 焼入 600°C~650°C	螺桿「プロペラボス」器具, 傾斜軸
クロム鋼	0.40~0.50	0.20~0.50	0.30~0.80	〃	—	1.50~2.20		55以上	75以上	12	—	—	—	焼入 800°C~850°C油冷 焼入 620°C~700°C油又ハ空冷	氣筒
高炭素クロム鋼	1.30~1.70	0.20~0.50	0.40以下	0.02以下	—	10.0~13.0		45~55	70~80	13	—	—	—	焼鈍 約800°C 爐中冷却	扱, 排気弁
ニッケル鋼 甲	0.10~0.50	0.20~0.35	0.30~0.60	〃	3.00以上	0.80以上		85~100	105~115	10	—	8	—	調質	曲軸
ニッケル鋼 乙	0.17~0.30	0.20~0.35	0.40~0.60	〃	3.50~4.50	1.00~1.60	マンガン	105~115	115~125	9	—	9	—	調質	曲軸

高瀬孝次「航空發動機要鋼に就て」『航空研究所彙報』第七十號, 1930年6月, 附表第五。

気筒頭の動弁機構は図5に示される通りのSOHC. 弁は「特殊鋼製」と表記されているが, 表2のご参照を願っておく. 2重の弁バネはピアノ線製で, 内側が直円筒に巻かれ, 外側は微妙なテーパ巻きとなっており, 大径側を上にして組込まれていた. 弁案内(弁準)は青銅製. 冷態弁すき間は吸気0.3mm, 排気0.4mm, 最大許容値は何れも0.7mmとされた.

図5 川崎 BMW 450 馬力發動機の気筒頭動弁機構

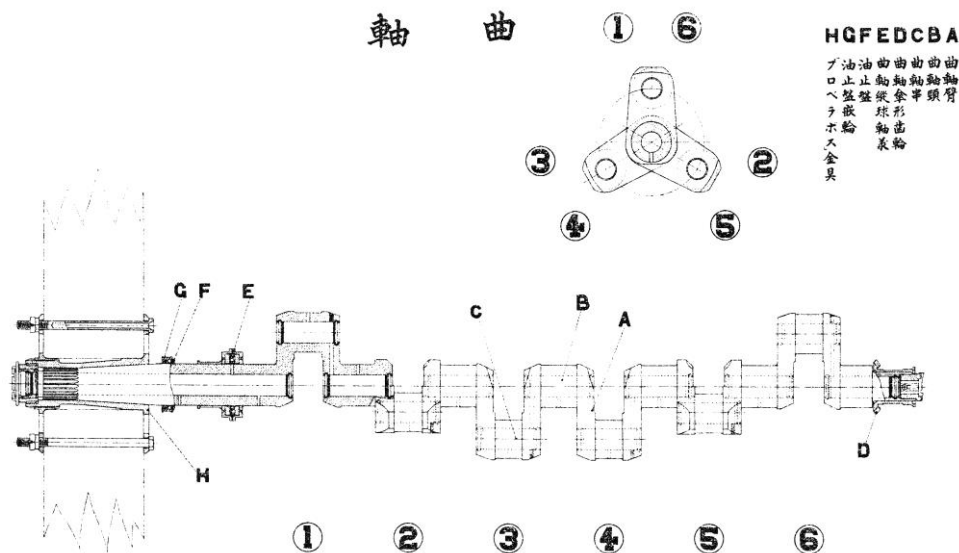


『教程』10頁次, より.

クランクピン軸受は上下・左右 4 分割型の特殊青銅製ケーシングに収められた 12 個のコロから成った。副連桿々部も I 断面を有し、そのリストピン軸受は 12 個のコロと、これらを取る“水車型”ケーシングとから成った。

クランク軸(図 8)は左手式であった。直列 6 気筒なら着火順序は 1-4-2-6-3-5 となるところである。材料は特殊鋼製一体鍛造品でジャーナル B とピン C とは中空加工されており、油路をなしていた。主軸受は 8 個で、分割された最前部 2 個の間にはスラスト受としての単列スラスト玉軸受 E とカラーとが配されていた。コロの転走面をなすピン部表面には窒化が施されていた。F はオイルシールで、その前のプロペラボス取付部にはテーパが付与されており、36 条の取付スプラインが刻まれていた。クランク軸後端には傘歯車 D が取付られ、上方の動弁系堅軸および下方のポンプ駆動軸傘歯車を駆動した。

図 8 川崎 BMW 450 馬力発動機のクランク軸

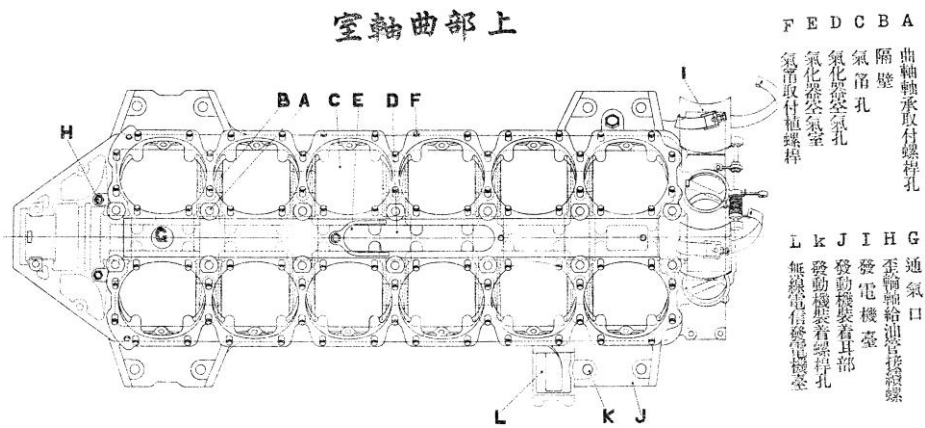


『教程』6 頁次, より.

クランク室は Al 合金製で、上部クランク室(図 9)と下部クランク室(図 10)とから成り、それらは隔壁を貫通する主軸受取付ボルト A, 14 本と外周に配されたスタッド 38 本によって結合された。主軸受メタルについては「減摩合金」としか表記されていないが、ホワイトメタルであろう。

5 つの中間隔壁は 2 重構造をなし、その中空部は吸気通路となって吸気の予熱と主軸受の空冷を果していた。各中空部は上部にて互いに連通し、その最上部に気化器空気室(図 9 E, 図 2 K)への孔(図 9 D)を開口させていた。図 9, G はクランク室のブリーザ孔である。

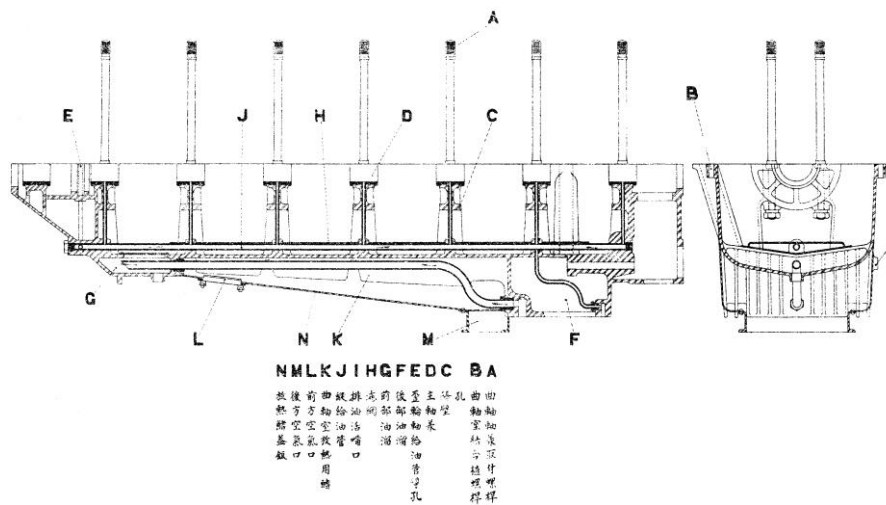
図 9 川崎 BMW 450 馬力発動機の上部クランク室



『教程』6頁次の次, より.

下部クランク室はラダーフレームをなしていた. 潤滑は当然ながらドライサンプであったから, オイルパン容量は発動機サイズの割には小さかった.

図 10 川崎 BMW 450 馬力発動機の下部クランク室
室軸曲部下



『教程』7頁前の前, より.

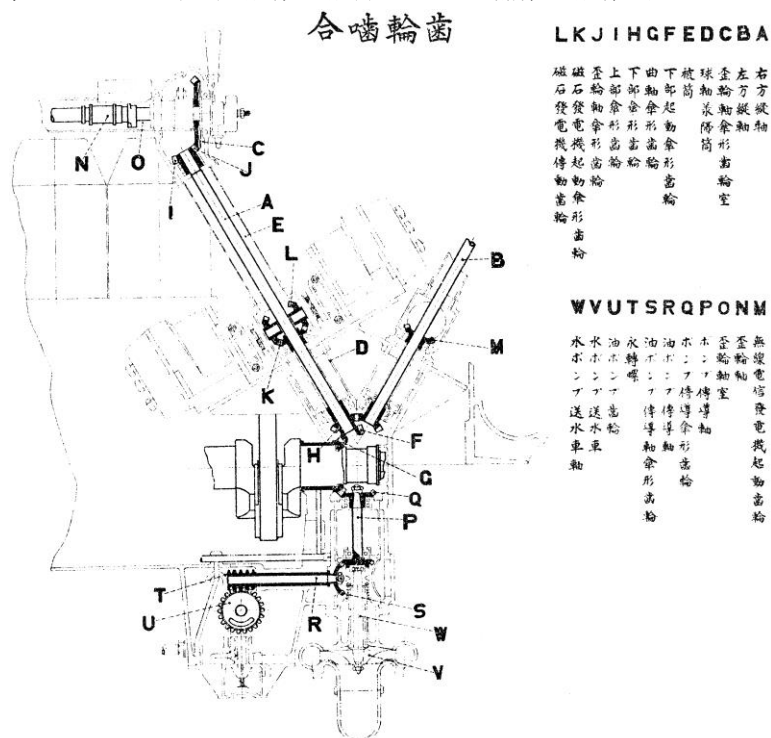
下部クランク室底を覆う Al 製蓋板には前後に吸気口 L, M が設けられており, 吸気はここからオイルパン底の放熱フィン K を舐めた後, 下部クランク室~上部クランク室隔壁の中空部を抜けて気化器空気室へと上昇せしめられた⁸.

⁸ それゆえ, 内丸の「前から入り来る新鮮な空気」【強調引用者】がクランク室隔壁の中空部を抜けて主軸受を冷却した後, 気化器空気室に入るとする解説は誤りである. なお, BMW と似たような趣向についてはイスポも特許を取得しているが, これも前面からの空

外から空冷されるオイルパンは前部 G と後部 F とに分たれており、G は濾網 H から滴り落ちて来る排油の溜りとなっていた。潤滑系統全体については別途、紹介される。

図 11 は動弁ならびに補機駆動機構の全体を示す。クランク軸後端の傘歯車 G によって F から駆動される堅軸 A, A は I, J を通じて特殊鋼製中空カム軸 N を駆動した。カム軸々受箱は Al 製で、カム軸と接するメタルは砲金製ブシュとなっていた。カム軸カバーは軟鋼製、ロッカー・カバーは Al 製であった。カムの表面は次に見る減圧カムのそれを含め、全て窒化されていた。研削仕上げ後は磁気探傷がなされていたことであろう⁹。

図 11 川崎 BMW 450 馬力発動機の動弁ならびに補機駆動機構



『教程』7 頁前, より.

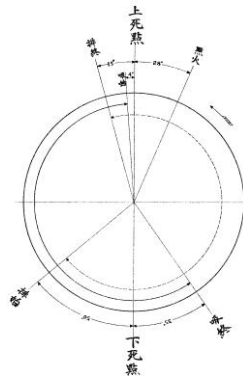
クランク軸後端傘歯車 G は K, L を通じてマグネトーと無線用発電機をも駆動し、同じく Q から駆動されるポンプ伝動軸 P は水ポンプのインペラと油ポンプ伝動軸 R を介してプランジヤ式の油ポンプとを作動させた。この他、G は Lamblin 燃料ポンプをも駆動した。

気取り入れではなく側面からであり、また、気化器への連通は行われていなかった。拙稿「三菱航空発動機技術史(訂正補足版) [I]」, 149 頁, 参照。

⁹ 川崎航空機工業(株)検査課『磁気探傷器ニ依ル検査採用程度基準案 別冊第三』1938 年 6 月, は BMW IX 型系ハ 9-II 二型発動機部品への磁気探傷法の普及状況を偲ばせる写真資料となっているが、磁気探傷自体は VI 型から行われていたことと想われる。

川崎 BMW 450 馬力発動機における吸排気弁開閉時期は図 12 の通りで、少ないながら 4° のオーバーラップが設定されていた。

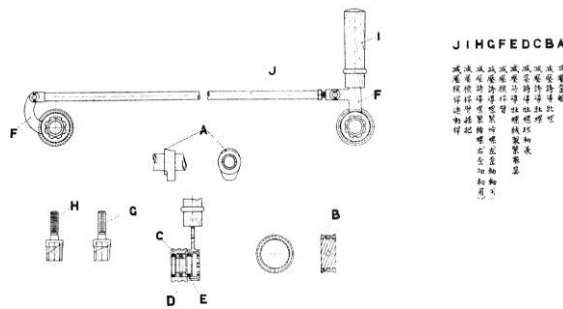
図 12 川崎 BMW 450 馬力発動機の弁開閉時期
圖行運弁



『教程』60 頁次, より.

なお, 本発動機にはレバーを倒すことによりヘリコイドを回して両バンクのカム軸を若干, 後方に移動させ, 圧縮行程において排気カムの横に設けられたリフトの小さな減圧カムをしてロッカーアームを突上げせしめ, 40mm BTDC まで排気弁を僅かに開かせて圧縮抵抗を抜くデコンプ機構が装備されていた(図 13)¹⁰.

図 13 川崎 BMW 450 馬力発動機のデコンプ機構
置装圧減



『教程』12 頁次, より.

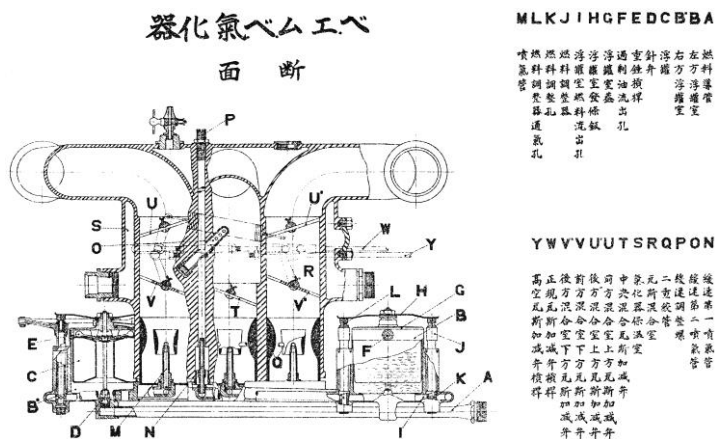
3. 川崎 BMW VI型航空発動機の補機

川崎 BMW 450 馬力発動機には 2 重ベンチュリー・3 バレルの BMW 昇流式気化器が採用されていた(図 14, 15). その最大の特徴は低空における吸気絞りである. 中央スロットル T と

¹⁰ デコンプ一般については高速ディーゼル絡みではあるが, 拙稿「デコンプとその使用法について」(→IRDB), 参照.

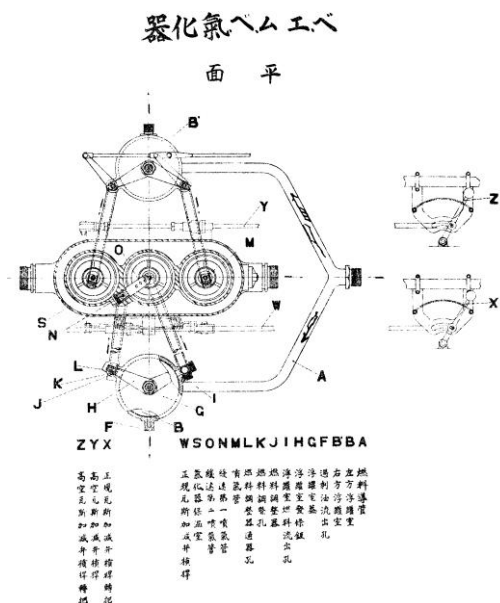
前後上方スロットルU, U', 前後下方スロットルV, V'はそれぞれ別に連動しており, 低回転ではTが, その開度が増せばU, U'も開き, V, V'の切欠き部から補助的吸気が行われた. 高度 1000m を超え, 高空ガス加減弁テコ Y が扱われれば V, V'が開き始め, 3000m にて全開に達すると U, U'の開閉による出力調節へと移行した¹¹.

図 14 川崎 BMW 450 馬力発動機に装備されていた BMW 気化器の縦断面図



『教程』14 頁次, より.

図 15 川崎 BMW 450 馬力発動機に装備されていた BMW 気化器の平面図

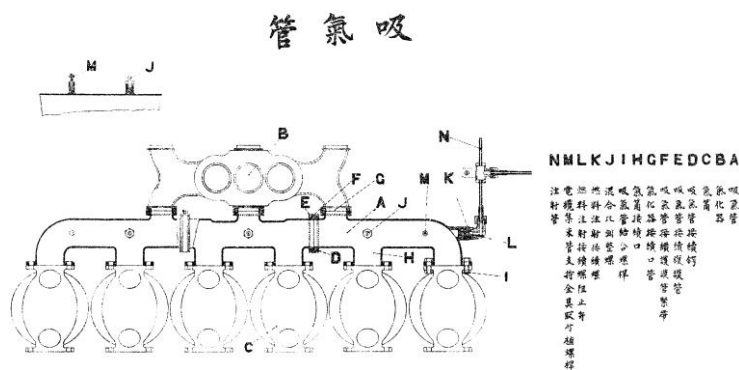


『教程』14 頁次の次, より.

¹¹ IIIa 型の BMW 気化器は 3 バレル・1 重ベンチュリーであった。山下前掲「Der 185 P.S. Bayern-Flug Motor に就て」Fig.5, 参照。

なお、地上~1000m の低空で Y が扱われるのは 5 分間最大出力を発揮させねばならぬ危急時に限られた。気化器から各気筒へと至る鋼板製吸気マニフォールド回りについては図 16 に示される通りである。なお、排気管については半軟鋼製とのみ記されている。

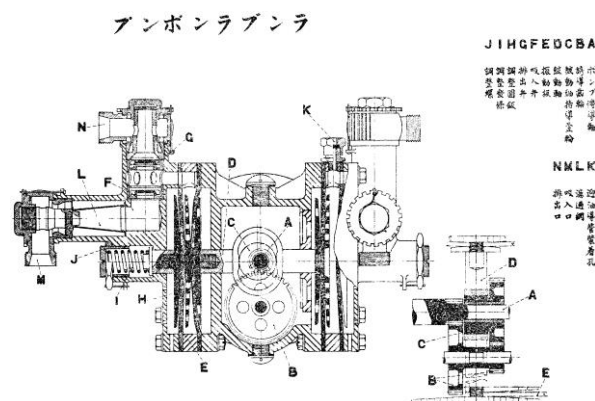
図 16 川崎 BMW 450 馬力発動機の鋼板製吸気マニフォールド回り



『教程』18 頁次の次, より.

ランブラン燃料ポンプについて図 17 に示す. これは一種の双頭型ダイヤフラム・ポンプで, 標準燃圧は $0.15\sim 0.25\text{kg/cm}^2$, 通常運転時は $0.2\sim 0.25\text{kg/cm}^2$ 辺りと指定されていた¹².

図 17 川崎 BMW 450 馬力発動機に装備されていた Lamblin 燃料ポンプ



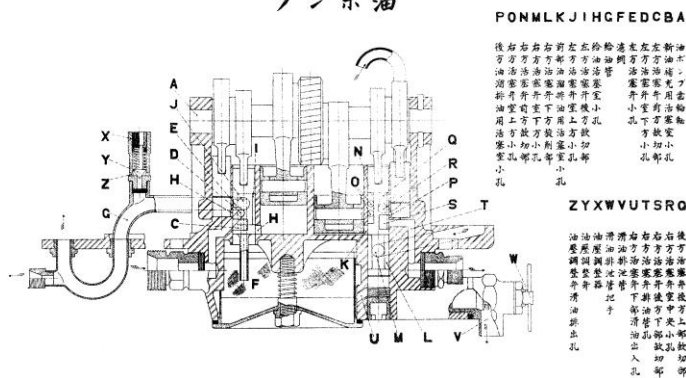
『教程』20 頁次, より.

潤滑油ポンプはプランジャ 2 本とその前後各 2 本のピストン弁とから成る往復動式であった(図 19). 当然, 中央右の排油ポンプの方が大径となっており, 標準油圧は 300~500rpm の

¹² ランブランに係わる事蹟については拙稿「三菱ランブラン冷却器について」(→IRDB), 参照.

緩速運転時 0.6 kg/cm²，通常運転時 1.2~1.8kg/cm²。それにしても，単なるギヤポンプで事足りる処にかようなメカ倒れのカラクリを仕組むとはドイツ的酔狂の極みである¹³。

図 18 川崎 BMW 450 馬力発動機に装備されていた油ポンプの縦断面図
ポンボ油

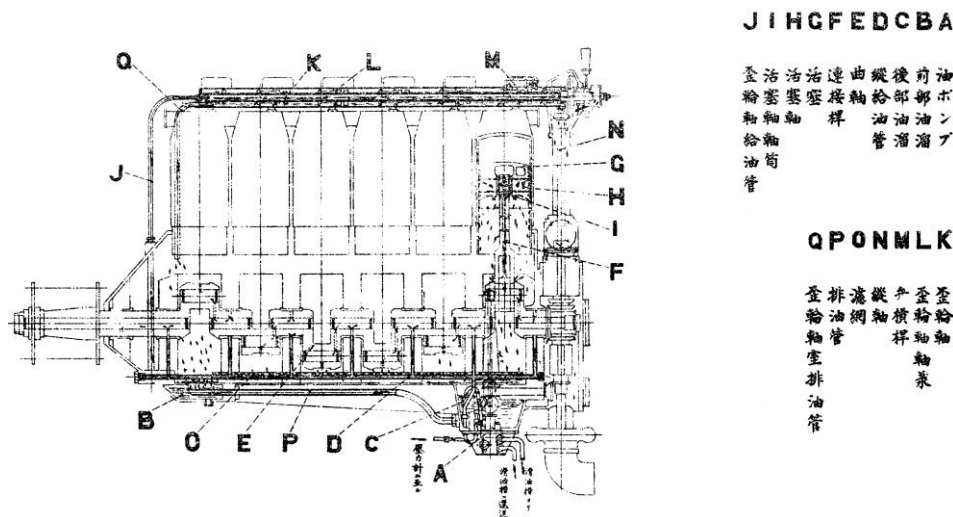


『教程』22 頁次，より。

図 19 に川崎 BMW 450 馬力発動機の潤滑系統を示す。

図 19 川崎 BMW 450 馬力発動機の潤滑系統

統系環循油滑

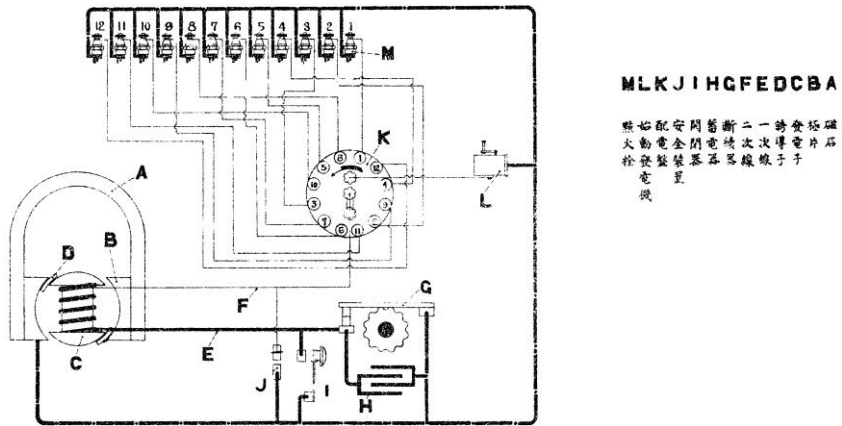


『教程』26 頁次，より。

¹³ 類似のメカ倒れのカラクリは G38 用エンカース L88 型発動機の燃料ポンプにも見出される。前掲拙稿「三菱航空発動機技術史(訂正補足版) [I]」，参照。

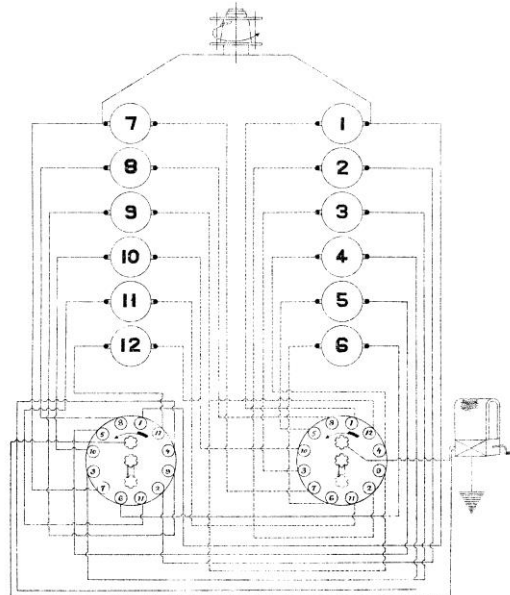
図 22 は片方のマグネトーからの点火系統を、図 23 は両方のマグネトーからの点火系統ならびに点火順序を示す。

図 22 川崎 BMW 450 馬力発動機における片方のマグネトーからの点火系統
統系火點



『教程』38 頁次, より.

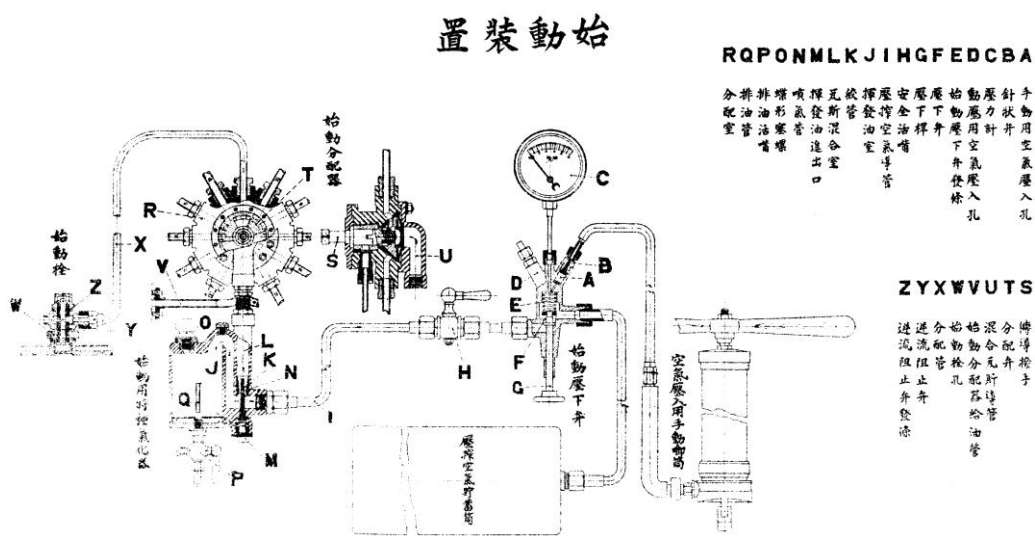
図 23 川崎 BMW 450 馬力発動機における両方のマグネトーからの点火系統と点火順序
序順火點



『教程』38 頁次の次, より.

川崎 BMW 450 馬力発動機の始動は圧縮空気により爆発性ガス[過濃混合気]をカム軸後端に組付けられた始動分配器を用いて各気筒始動ノズルに適宜、分配しつつクランキングするシステムの一つであり、川崎造船所がフランスから導入した Santin 式が用いられていた(図 24)。始動に際しては吸気マニフォールドへのプライミングと始動用気化器への燃料充填が必要とされ、圧縮空気の圧は 7~8 kg/cm² を標準とした¹⁴。

図 24 川崎 BMW 500 馬力発動機に装備された Santin 式始動装置



『教程』42 頁次，より。

4. 川崎 BMW VI型航空発動機の整備

川崎 BMW 450 馬力発動機における点検整備のための分解は 100~150 時間毎と指定されていた。気筒の抜取りは第 1 気筒ピストンを 30° BTDC に置いて第 1, 第 7, 第 6, 第 12 気筒を外し、クランクを 120° 進めて第 2, 第 8, 第 5, 第 11 気筒, 更に 120° 進めて第 3, 第 9, 第 4, 第 10 気筒の順に実施された。

整備のための分解時、ピストンリングは折損、摩耗が認められなければピストンから外さぬことを、また連桿もコロ軸受に異常が認められぬ限り、クランク軸から外さぬことが原則とされていた。コロに疵や摩耗が発見されれば、分解の上、全て新品に交換された。連桿に油孔閉塞が無いことの確認も重要な点検項目であった。

¹⁴ 圧縮空気を用いるその他の航空発動機始動法については前掲拙稿「三菱航空発動機技術史(訂正補足版)[I]」, 参照。因みに、ある程度以上のサイズを有する陸船用ディーゼル機関においては現在でも圧縮空気による始動は普遍的である。

ピストンにカーボン堆積があれば銅ワイヤブラシ、サンドペーパー、スクレーパにて除去し、再堆積を防ぐ意味で可及的に平滑仕上げすべしとされていた。気筒挿入時のリング合口すきまは **0.2mm** を標準とした。

ピストンリングと気筒との摺合わせは先ずカーボランダムを、次に潤滑油を用いて実施された。弁にカーボンの附着があればスクレーパで削り落とし、先ずカーボランダムを用いて、仕上げには洗い油を用いて摺合わせが実施された。

主軸受のすき間調整に当っては上下クランク室主軸受にクランク軸を載せ、緩回転させてすき間をチェックし、適宜、メタル表面にキサゲを施す。その結果、軸受すき間が **0.1mm** を超える場合には主軸受シェルと主軸受サドルとの間に銅箔を挿入して対処した。銅箔が上下クランク室合せ面にはみ出すと合せ面に生じたすき間から潤滑油が漏出し、気化器に吸入されるがゆえに、はみ出し部は嚴重に切除された。この程度を超える軸受すき間の拡大に対してメタルの鋳替えが実施されたことは当然である。

組立は下部クランク室に連桿付きのクランク軸を載せ、上部クランク室をこれに被せ、連桿にピストンを組付け、弁を装備した気筒を分解の逆順序で嵌め込み、動弁系を組込み、カバー類、補機類、配管、配線を取付ける手順で行われた。

むすびにかえて——川崎 BMW VI型航空発動機についての評価

富塚 清は25年投入の BMW VI型 500馬力発動機について、「構造様式は古く、特筆すべき手法は使っていない。たゞいかにも頑丈だからドイツ及日本で愛好された」、あるいは「これの構造は旧い全鋼製個別気筒の様式であり、特筆すべき手法は使はれてゐない。たゞ如何にも頑丈であるからドイツ及び日本で愛好された」などと述べている¹⁵。

確かに、この系統の発動機は両国で総計1万1000基ほど、しかも、母国においては足掛け15年の永きに亘って造られている。過給機付きとなったIX型にしても、量産規模こそ小さかったものの、わが「航研機、用発動機のベースとなっている位であった。因って、この系列の発動機に機械的健全さと信頼性の点において大きな根本的瑕疵は無かったと観て良い。

他方、川崎 BMW 450馬力発動機に係わる数少ない同時代資料は富塚の評価とは全く相容れぬモノとなっていた。即ち、所澤陸軍飛行學校の総合的な整備データに照らす限り、その修理にはイスパノ 300馬力 V8型と比べると随分大きな手間と費用とが計上されていたからである¹⁶。

このギャップを埋めるための論点は三つ、考えられる。第1に、所澤陸軍飛行學校における上記比較データの相手は三菱イスパノ発動機の全盛モデルとも形容されるべき300馬力V8

¹⁵ 富塚 清編『航空発動機』（1935年）、40~41頁、同『航空発動機』共立社、1943年、42~43頁、より。

¹⁶ 同上拙稿、92~95頁、参照。

型であった。V8とV12とのメンテナンス・コスト比較ではサイズ、部品点数共にV12、つまりBMWに不利となって当然である。

第2に、BMWの450馬力型と500馬力型との間にその根幹に係わるような相違が存在したとは想えぬが、逐年の改良事績が刻まれていたことは明らかである。逆に言えば、450馬力型は試作品に毛の生えた程度の存在であった可能性が高い。

第3に、この命題を補完するデータとして、所澤でなされたBMW 500馬力型と三菱イスポノ 450馬力型というV型12気筒同士の惜しくも不完全な比較においては“BMWの方がややマシか？”といった状況をイメージし得なくもない程度の事蹟が記録されていた¹⁷。

無論、その逆はあり得ぬが、川崎におけるライセンス生産品の出来栄が本家のそれに比して劣っていたであろうこと、そして、“航研機、用発動機の整備状況や総運転時間が実用機のそれに較べればウォーミングアップ程度に類するレベルであった点も考慮に入れられねばなるまい。

それでも、ライバルであった三菱イスポノ系発動機は総じて不出来な存在であり、かつ、その欠点は12気筒化や気筒サイズ拡大や派生モデル投入を見る毎に顕在化したようである。実際、この点を正直に反映するかのように、その量的存在感は急速な低下を示していた。左様な頼り無さの権化の如き比較対象を念頭に置いて初めて、“BMWは頑丈”との総括に込められた富塚の真意、実感のほども理解可能になると考えて大過無いであろう。

¹⁷ V12同士の比較データについては同上拙稿、123~124頁、参照。

補足 BMW IX型の機械式 1 速過給機に係わる航空研究所での実験

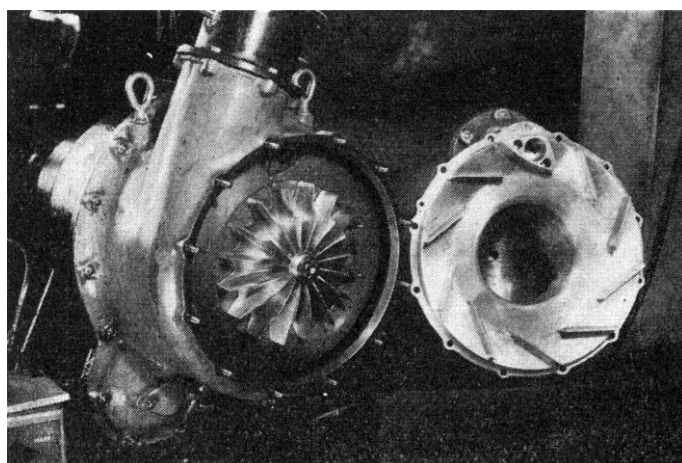
VI型を過給したモデルがIX型である。部分カットされた川崎 BMW ハ 9-II 乙の現物は日野オートプラザでも観ることが出来るから、敢えてここでは画像を掲げないで置く。

とまれ、BMW IX型は軽過給発動機であったため、その圧縮比は 7.3 と高かった。その正規出力は 715HP/1680rpm@2180m, 最大出力は 800HP/1750rpm@海面高度。Sum 単胴気化器付きで燃料消費率は 235g/HP-h, プロペラ減速比 0.5 と伝えられている¹⁸。

川崎航空機でライセンス生産されたIX型については離昇出力 800HP/1740rpm@+87mmHg, 公称出力 715HP/1680rpm@海面高度, +21mmHg, 753HP/1680rpm@2000m, +21mmHg といった出力データも残されている¹⁹。

以下においてはIX型の機械式 1 速過給機に係わる航空研究所での実験データの中から一部を紹介しておく。図補 1 は過給機を開いてその翼車とディフューザとを示した写真である。ここに観るようなベーン型ディフューザは単純なスクロール型のそれに比して最大効率に優る反面、最大に近い効率を発揮し得るレンジは一般に狭いとされている。これは公称回転数における性能が最重視される航空発動機に用いられるべき過給機には最適の特性である²⁰。

図補 1 BMW IX型の過給機



富塚編『航空発動機』(1935年), 316頁, 第285圖.

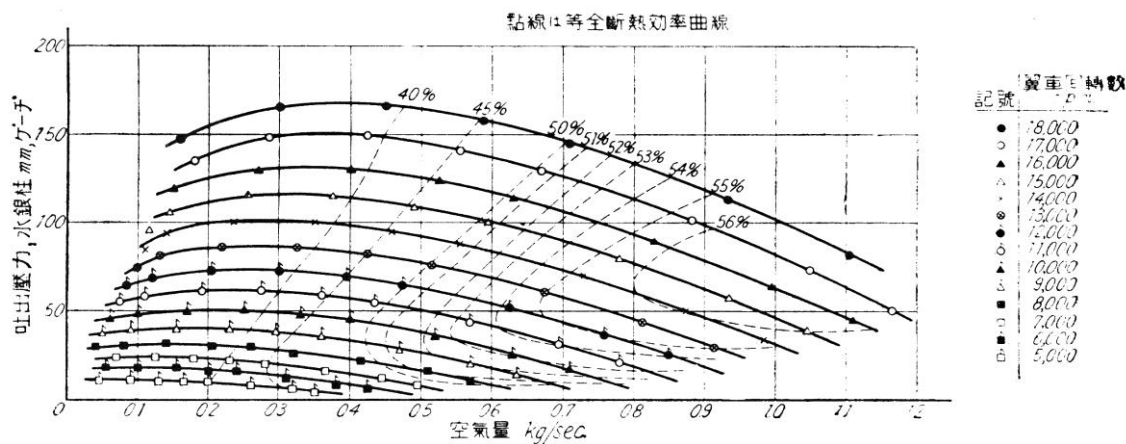
¹⁸ 機械学会『機械工学便覧』増補改訂版, 1937年, 1480頁, 第77表 つづき, より.

¹⁹ 『日本航空学術史(1910-1945)』432頁, より.

²⁰ Hugh MacInnes/桜井一郎訳『ターボチャージャの理論と実際』鉄道日本社, 1981年, 12~13頁, 参照. その工作が面倒である場合, 別の小翼車(導流翼車)を吸込み口, 即ち本来の翼車の前に置くこともあった.

図補 4 は実物翼車を用いた実験データの一つである。大排気量・軽過給という発動機の性格に呼応して、この過給機は Armstrong Siddeley *Jaguar* 発動機(2R14-127.0×139.7[24.8L], VIII型で公称 405HP/2000rpm@4600m)のそれとは対照的に、吐出し圧が低く風量の大きな遠心式圧縮機となっていた²³。

図補 4 実物翼車(16枚翼)による吐出圧力と空気量との関係



富塚編『航空発動機』(1935年), 316頁, 第286圖.

機械式過給機の発動機後部への組込みは比較的容易であるばかりか、その前面投影面積増大を招く弊害とも無縁であった。高オクタンガソリンと機械式過給機とが航空発動機技術史に新次元を拓く結果となった所以である。しかし、同時にこのことはVI型以来、ないし第一次世界大戦期以来の旧弊な BMW V 型 12 気筒水冷航空発動機の本体構造を陳腐極まるものと認識させずには済まぬ要因ともなった。V 型 12 気筒発動機に対して同時代の戦争推進勢力が何よりも要求したのは高速度戦闘機に装備されるに足る高い比出力であった。

²³ 富塚編『航空発動機』(1935年), 310~315頁, 参照。BMW 過給機に関するヨリ体系的なデータについては富塚編『航空発動機』(1943年), 834~837, 843~849頁を参照されたい。