

# Bristol *Jupiter* 航空発動機について —VI型からVII型, VII.F 型への進化—

坂上 茂樹

<b>Relation</b>	ツールエンジニア. 62(13); 78-94. 2021.
<b>Type</b>	Preprint
<b>Textversion</b>	Author
<b>Rights</b>	<p>この記事は、私的な目的でのみ使用することができます。その他の使用には、著作権者に事前の許可が必要です。</p> <p>This article may be downloaded for personal use only. Any other use requires prior permission of the author and Taigashuppan.</p>

Placed on: Osaka City University Repository

# Bristol *Jupiter* 航空発動機について

——VI型からVII型, VII.F型への進化——

坂上茂樹

## 目 次

はじめに

1. Bristol *Jupiter* 航空発動機と中島飛行機
2. Bristol *Jupiter* 航空発動機におけるVI型からVII, VII.F型への進化
3. Bristol *Jupiter* VII型およびVII.F型の本体各部構造
4. Bristol *Jupiter* VII型の過給機
5. Bristol *Jupiter* VII型の自動ブースト調整器
6. Bristol 気化器

むすびにかえて

## はじめに

本稿は正統な資料に依拠してイギリス, Bristol *Jupiter* 航空発動機の進化, とりわけVII型およびVII.F型の技術的要点について紹介しようとする試みである<sup>1</sup>。

1918年の実用化以来, わが中島飛行機を含む各国のメーカーに技術移転の上, 量産された Bristol *Jupiter* 航空発動機は 1920年代における固定気筒単列空冷星型9気筒発動機界を代表する作品の一つで, 1929年には最終のX型が追加された。'32年, 全面改良型の *Pegasus* へと置換えられるまでに *Jupiter* は世界各国で7100基以上製造され, *Pegasus* は *Jupiter* の令名を汚すことなく'42年までに17000基ほど量産された<sup>2</sup>。

## 1. Bristol *Jupiter* 航空発動機と中島飛行機

*Jupiter* はI型からX型まで展開したが, 本体機構における大きな進化は天井一体のコップ状をなす鋼製気筒に軽合金製頭部カバー(poultice head)を載せた気筒構造からねじ込み・焼嵌め(screwed and shrunk)式気筒頭へのシフト, 機械式過給機の採用, 減速装置導入の3点に集約される。ねじ込み・焼嵌め式気筒頭を持つ機種には型式呼称に“F”が付された。また,

---

<sup>1</sup> 典拠は Air Ministry, *Bristol Jupiter Series VII&VII.F Aero Engines*. London, 1930. *Jupiter* の来歴やVI型までの展開については拙稿「三菱航空発動機技術史 第三部」(→IRDB)にて同じく信頼できる文献に依拠して一通り解説したので, ここでは特に必要のない限り繰り返さない。

<sup>2</sup> B., Gunston/見森 昭・川村忠男訳『世界の航空エンジン ①レシプロ編』グランプリ出版, 1996年, 49~52, 68~70頁, 参照。

機械式過給機の導入とともに自動ブースト調整器(Automatic Boost Control ないし Automatic Boost Control Regulator : 以下, ABC と略記)が選択可能とされた。

これら新機軸の採用には型式番号の進みが大雑把には対応しているものの, 後者の展開は幾分, 順列組合せ的であり, I 型から X 型まで時系列的に単線的な進化が観察されたわけではない。これを中島飛行機における製造機種について例示したのが表 1 である。中島飛行機が 1925 年 12 月 31 日に製造権を購入したのは *Jupiter* VI 型であったが, 表記のとおり, その契約内容は順次, 拡充されて行ったようである<sup>3</sup>。

表 1 中島飛行機が製造した *Jupiter* 諸型式の特徴

		VI 型						VII 型		VIII 型		IX 型	
		高圧縮 H		中圧縮 M		低圧縮 L		—		高圧縮 H		中圧縮 M	
		F	A	F	A	F	A	F	—	F	—	F	—
圧縮比		5.8	6.3	5.3	5.3	5.0	5.0	5.3	5.3	5.8	5.8	5.3	5.3
減速比		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
地 上	正規	420/1700	415/1700	465/1700	440/1700	445/1700	420/1700	500/1775	375/1775	465/2000	450/2000	515/2000	485/2000
	最大	435/1870	—	500/1870	480/1870	480/1870	460/1870	540/1950	—	470/2200	—	545/2200	525/2200
高 度	m	1200	1540	地上		地上		2700/3000	3650	1200	1540	地上	
	正規	420/1700	415/1700	—	—	—	—	480/1775	420/1775	460/2000	440/2000	—	—
	最大	450/1870	460/1870	—	—	—	—	520/1950	465/1950	480/2200	—	—	—
油圧 kg/cm <sup>2</sup>		2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	4.2	4.2	4.2	4.2
呼 称		6FH	6A	6FM	6AM	6FL	6AL	7F	7	8F	8	9F	9
過給機		な し						機械式 1 速		な し		な し	

中川良一・水谷総太郎『中島飛行機エンジン史』増補新装版, 32 頁の表より抜粋。

原表のプロペラ回転数表記を発動機回転数表記に改めた。

左端の地上は地上馬力, 高度は高度馬力。単位は HP/rpm。

7F のみ高度性能が正規@2700m, 最大@3000m となっている。

中島飛行機が製造していない *Jupiter* トドメの X 型は減速装置付きの過給発動機, つまり, 呼称 9F 型に同 7F 型の要素を採り入れた型式となっていた。それゆえ, 基本構造としては中島でも<sup>ジュー</sup>壽として製造された VII および VII.F 型を以て *Jupiter* 系列はほぼ完成の域に達していたと考えてよい。

とは言え, 中島飛行機は *Jupiter* 系発動機の鍛造品削り出し 4 弁式気筒頭の生産性の低さに手を焼き, P&W(米) *Wasp* の設計を盗んだり, Wright Aeronautical(米)からの導入技

<sup>3</sup> 中川良一・水谷総太郎『中島飛行機エンジン史』増補新装版, 酣燈社, 1977 年, 27~28, 32, 168 頁, 参照。VI 型との記載は 168, 215 頁。

術を活かしてこれを *Cyclone* 化, 即ち 2 弁化するとともに気筒頭動弁機構を密閉・強制循環給油化して行った. かような事蹟は夙に知られるところとなっていよう<sup>4</sup>.

## 2. Bristol *Jupiter* 航空発動機における VI 型から VII, VII.F 型への進化

この *Jupiter* VII 型, VII.F 型について観て行く前に, そこに至る構造的進化と全般的な諸元について今少し詳しく押さえておきたい.

VII 型の直接的ベースは VI A 型であった. VI 型から量産機種ではなかった(not a Service engine)VI A 型への進化は次の諸点に約言される<sup>5</sup>.

- (i) プロペラハブの強度アップ
- (ii) 弁バネを 2 重から 3 重に<sup>6</sup>
- (iii) 気筒頭, 気筒胴の冷却フィン枚数追加
- (iv) フィルタ付きオイルサンプの採用
- (v) クランク軸前部における油路を 1 本から 3 本に
- (vi) クランク軸釣合錘取り付け部をクサビ型からホゾ型に
- (vii) 気化器を油加熱式に
- (viii) 弁揺腕軸受を玉軸受に
- (ix) 揺腕機構への防護カバー(Rocker Helmets)の取付

VII 型は上述のとおり VI A の過給型である. VII.F 型は他の“F”付きモデル同様, ねじ込み・焼嵌め気筒頭を持つ機種であるが, この設変に伴って吸排気弁には挟み角が付与された. 揺腕回りにも応分の設変が行われた余波でヘルメットと呼ばれたロッカー・カバーは廃止された.

VII.F 型においては恐らく圧縮比合せのために気筒取付フランジを上げて気筒のクランク室への差込みが深くされ, その余慶で発動機外径は若干小さくなった. 下死点付近における隣接気筒ピストン間の干渉回避策としてピストン設計も変更された. VII 型, VII.F 型の諸元を表 2 に示す. ブーストが時に負の値となっているのは吸入負圧のためである.

表 2 *Jupiter* VII 型, VII.F 型の諸元

	VII 型	VII.F 型
--	-------	---------

<sup>4</sup> 中川・水谷『中島飛行機エンジン史』増補新装版 46~47 頁, 水谷総太郎『中島飛行機エンジンとともに』酣燈社, 1999 年, 39~48 頁, 参照. もっとも, 中島飛行機による *Jupiter* 系発動機 *Cyclone* 化の手口が中途半端さや前面投影面積削減への偏執による技術的劣化を伴うものであった点については前掲拙稿にて論じておいた.

<sup>5</sup> cf., *Bristol Jupiter Series VII&VII.F Aero Engines*. p.xv.

<sup>6</sup> 航空発動機における弁バネの 2 重化, 3 重化の主旨はそのサージング対策としての固有振動数を異にするバネの併用ではなく, 折損時の安全策=多重安全設計にあった.

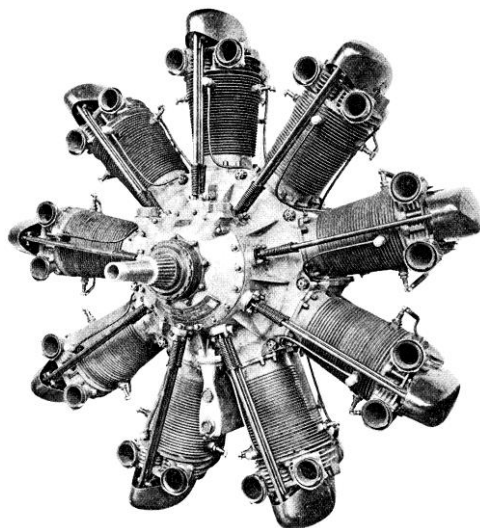
気筒頭構造	ポールティス・ヘッド	ねじ込み・焼嵌めヘッド		
$D \times S$ in.(mm)	5.75×7.5 (146.05×190.5)			
気筒番号	12時に1番, プロペラ側より右回りに2~9番(6番が主気筒).			
着火順序	1, 3, 5, 7, 9, 2, 4, 6, 8			
圧縮比	5.3			
回転方向	プロペラ側から見て右回り			
減速装置	なし			
過給機	歯車駆動遠心式, 1速. 増速比 10			
ブースト	公称	-1 1/4 lb.	w.o. ABC -1/2 lb.	with ABC 0 lb
	許容	-3/4 lb.	w.o. ABC 0 lb.	with ABC 0 lb.
	離昇	-	w.o. ABC +1 lb.	with ABC 0 lb.
公称高度	12,000 ft	w.o. ABC 9000ft.	with ABC 8000 ft.	
推奨燃料	Standard service 80/20			
全開運転公称燃料消費率	32 gallons/h	35 gallons/h		
推奨潤滑油	夏季: Mineral Summer grade, 冬季: Mineral Winter Grade			
潤滑油消費率	9~15 pints/h	6~12 pints/h		
油圧	通常 60 psi. 最低 50 psi.			
マグネトー	2×B.T.H. S.C.9-1 or 2×Watford S.P. 9-1	2×B.T.H. S.C.9-1B or 2×Watford S.P. 9-1		
同上回転数, 最大進角	発動機回転数の 9/8			
推奨点火栓	K.L.G. V.4 short reach	K.L.G. V.5.B. long reach		
気化器(Bristol)	3 聯, 油ジャケット付	3 聯, 加速ポンプ, 油ジャケット付		
回転計駆動	発動機回転数の 1/4			
単体乾燥重量 lb.	820	555		
弁すきま in.	吸 0.004, 排 0.016	吸 0.002, 排 0.010		
弁開閉時期	吸気弁啓開	10° BTDC	18° BTDC	
	吸気弁閉塞	47° ABDC	53° ABDC	
	排気弁啓開	61° BBDC	63° BBDC	
	排気弁閉塞	25° ATDC	24° ATDC	
発動機回転数	公称	1775rpm		
	≤5min.許容	1950rpm		
全開運転公称出力	420HP	480HP		

from *Bristol Jupiter Series VII&VII.F Aero Engines*. pp. xviii~xix.

VII型においては自社製 3 聯気化器に加速ポンプが付設された。自動ブースト調整器の取付が選択可能となった点についても既述のとおりである。

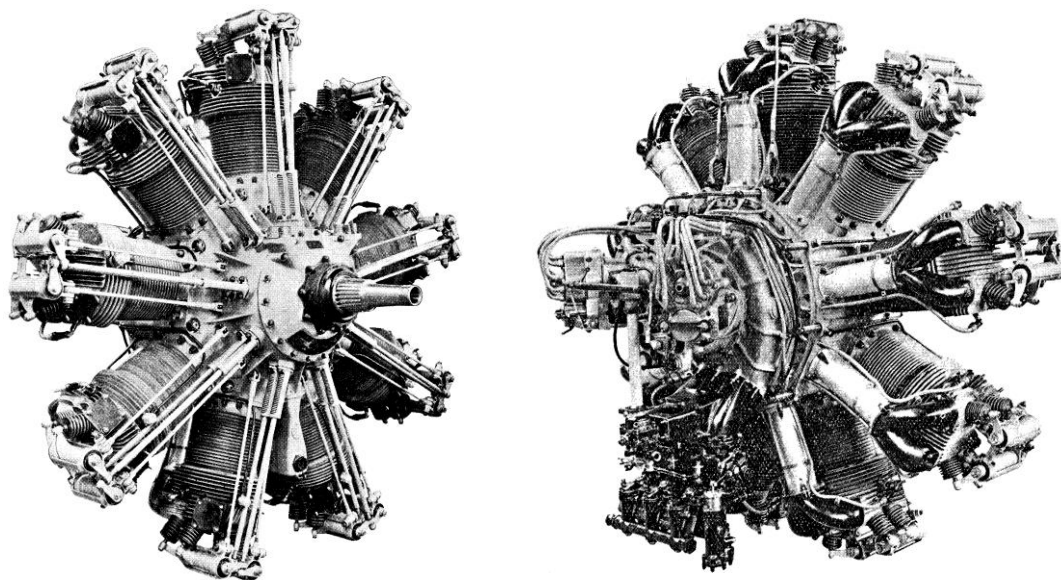
続いて、*Jupiter* VII型, VII.F型の外観写真を掲げよう。図1はロッカー・ヘルメットを被ったVII型の面構えを示す。後の作品に比すれば間延びしたプロポーションで、気筒頭の冷却フィンがピッチも粗く深さも物足りぬが、性能的にはこれで釣合が取れていた。残念ながら、典拠文献にVII型の背中からの写真は見当たらない。図2はVII.F型の外観写真である。

図1 *Jupiter* VII型の面構え



*Bristol Jupiter Series VII&VII.F Aero Engines*, p.136 Fig.83.

図2 *Jupiter* VII.F型

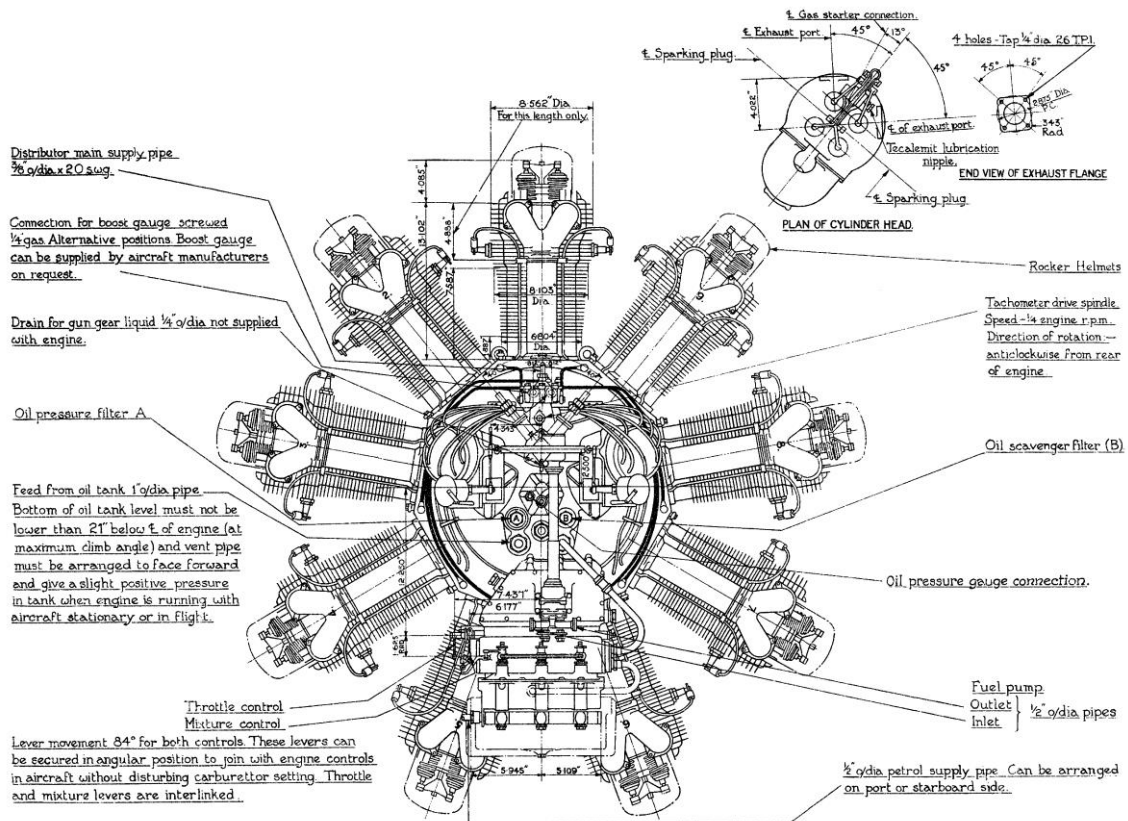


*ditto.*, *Frontispiece* and p.145 Fig.90.



図 4 に *Jupiter VII* 型の背面図を示す。図 3 と突き合わせれば、平行 4 弁式 OHV とでも呼ばれるべき弁配置が判然とする。当然ながら、燃焼室の天井はフラットとなっていた。これは浅い凹面をなすピストン冠形状によって若干、埋め合わせられてはいたものの、このぐらいの小細工では燃焼室形状の最適化とは程遠かった。

図 4 *Jupiter VII* 型の背面図



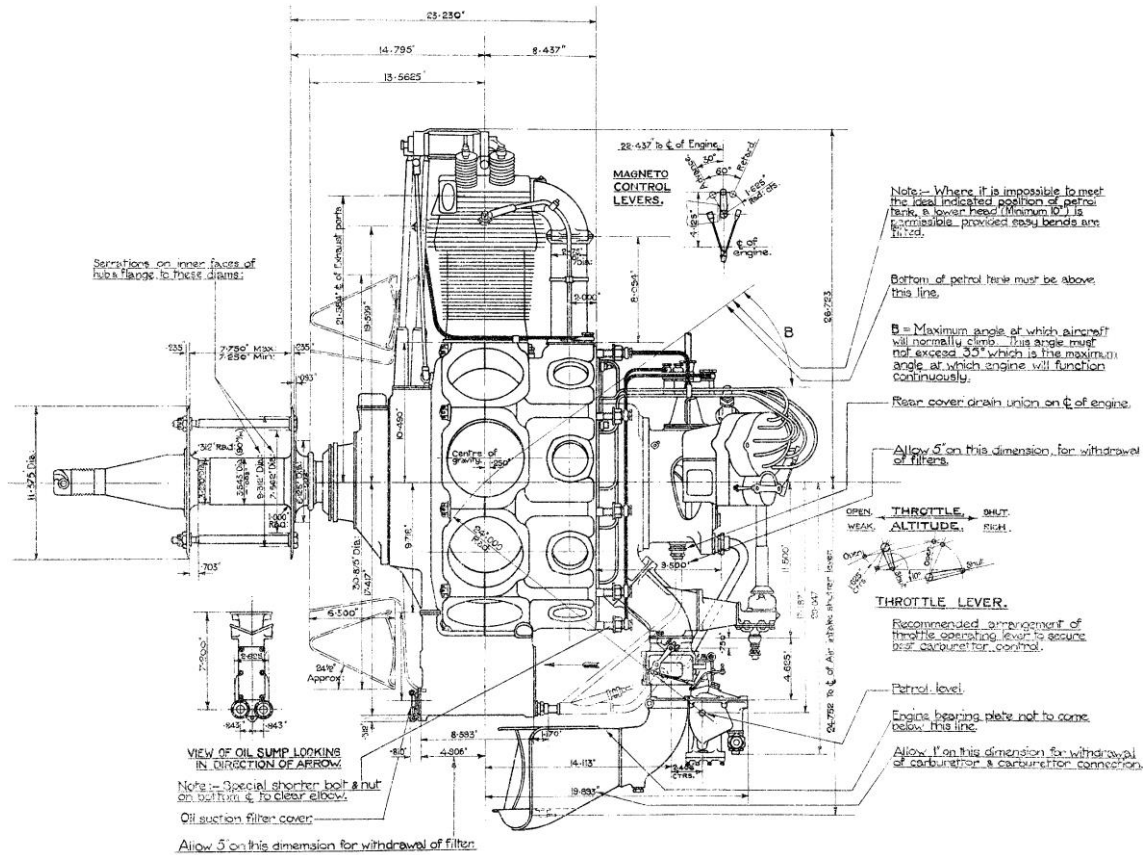
ditto., Fig.113(at the end).

なお、始動は Gas Starter と称し、地上設備として配備される始動用エンジン・コンプレッサからの圧縮空気を発動機に装備された分配装置で受け、これの働きによって膨張行程に位置する気筒の吸入管へと次々に投入して行く圧縮空気始動方式を標準とした。図 3, 4 で後蓋の上に乗っているのが分配器、図 4 左上の注記、ディストリビュータ云々もこの関係である。

続いて、図 5 はねじ込み・焼嵌め気筒頭を与えられた *Jupiter VII.F* 型の側面図である。重心位置は VII 型と同様である。発動機外径は定義されていないが、1 番気筒の正味背丈は 21.8mm 低くなった。気筒列前方の一点鎖線は排気集合管本体リング部の断面で、内側は気流を迂回させて気筒群へと導く環状エア・スクープとなっていた。



図5 Jupiter VII.F 型の側面図

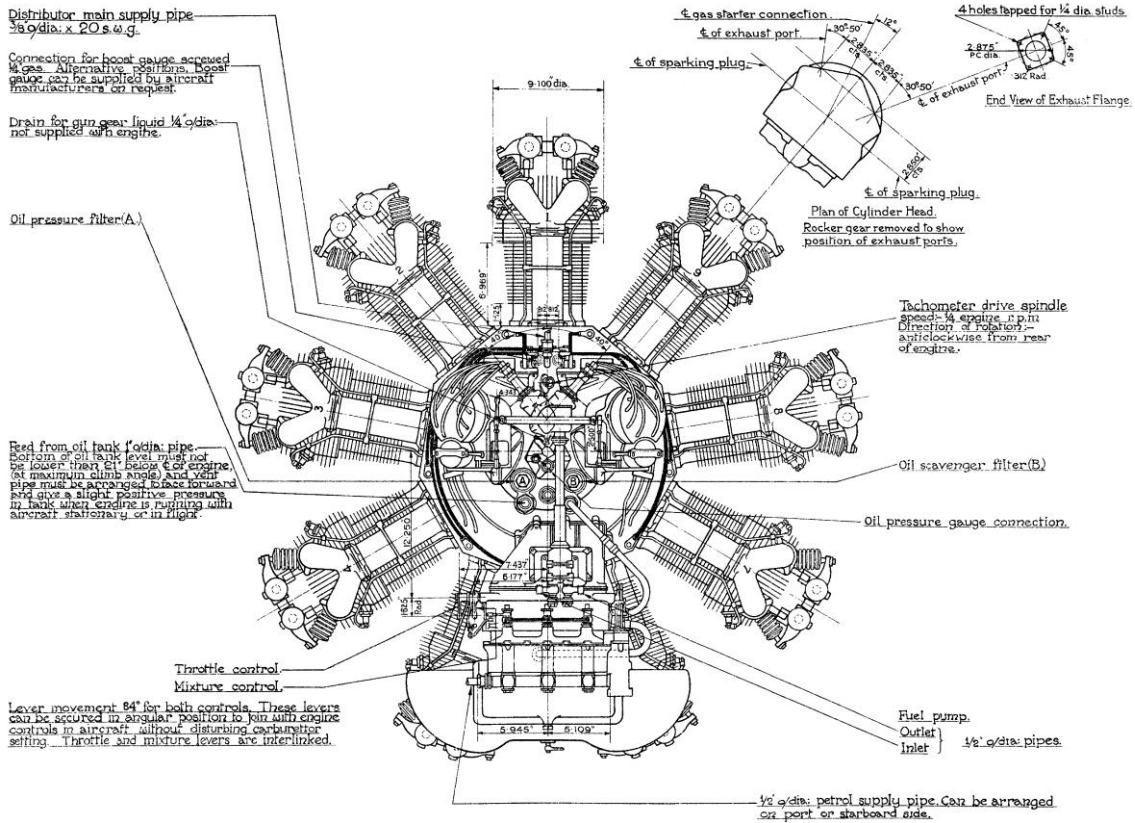


ditto., Fig.114(at the end).

図6には Jupiter VII.F 型の背面図を示す。吸排気弁挟み角は 60° となっている。この点については後ほどより明瞭な気筒断面図を引用する。燃焼室の縦断面形状は燃焼特性からすれば  $S/V$  比が小さく熱損失の少ない、かつ、火炎伝播距離の均等化をも図りやすい半球状が望ましく、VII.F 型への進化の中でも燃焼室縦断面形状のパンケーキ型からペントルーフ型への変更は特に意義のある項目であった。

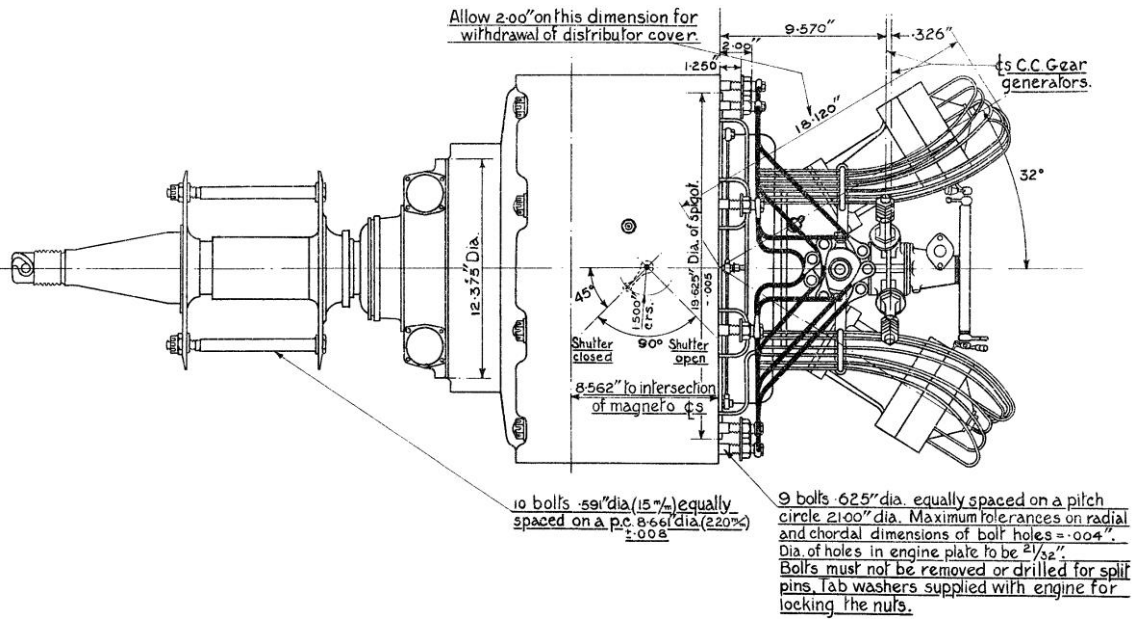
外観図の掉尾を飾る図7は Jupiter VII型, VII.F 型共通の気筒を省略した平面図である。始動用圧縮空気分配器と配管の取回しが明瞭に観取される。後蓋から左右、斜めに突き出しているのはもちろん高圧マグネトーである。また、ここではプロペラハブ・スリーブの外径のみならず、プロペラ取付ボルト径が 15mm, その取付直径が 220mm と注記もされている。これはプロペラハブが国際規格に則った製品であったとの推定を一層、強固にしてくれる事実である。

図6 Jupiter VII.F 型の背面図



ditto., Fig.115(at the end).

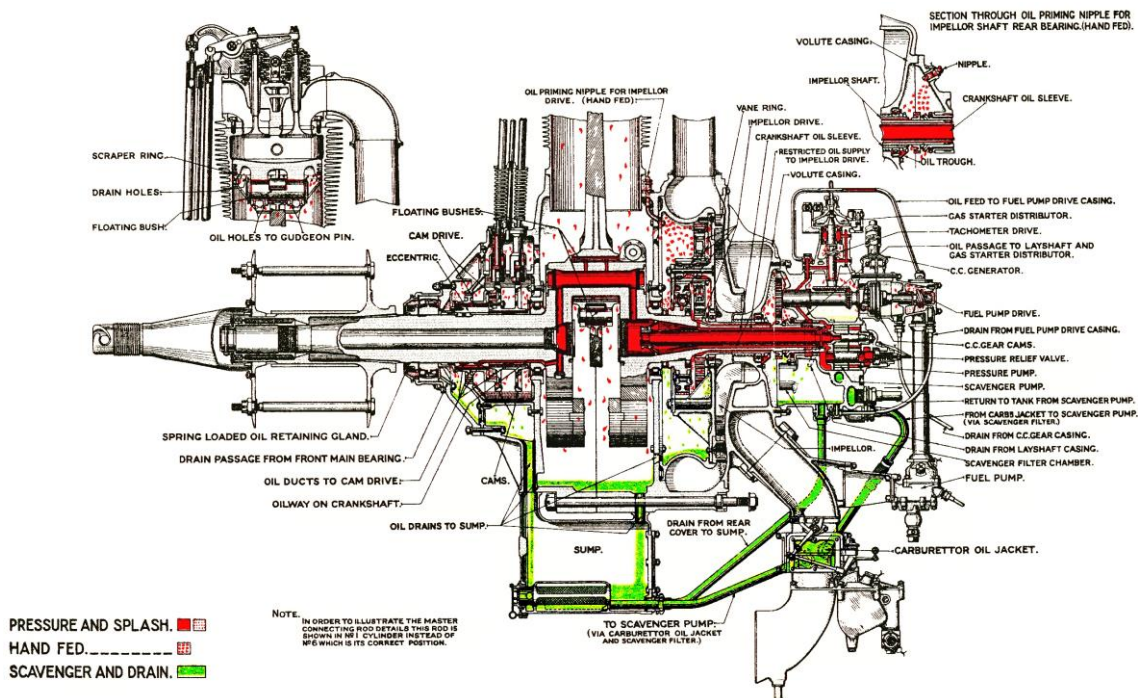
図7 Jupiter VII型, VII.F 型共通の平面図(気筒は省略)



ditto., Fig.116(at the end).

ここまでに掲げられた一連の要部寸法入り外観図は発動機の機体への艤装に係わる所謂、  
 装備図である。これに対して次の 2 点は発動機縦断面図の一種たる潤滑系統図となる。こ  
 の内、図 8 は *Jupiter* VII 型のそれである。何の表記もないが、ロッカー回りは軸受がグリー  
 ス潤滑、その他は手差し給油であった。

図 8 *Jupiter* VII 型潤滑系統図



*ditto.*, To face p.132 Fig.816.

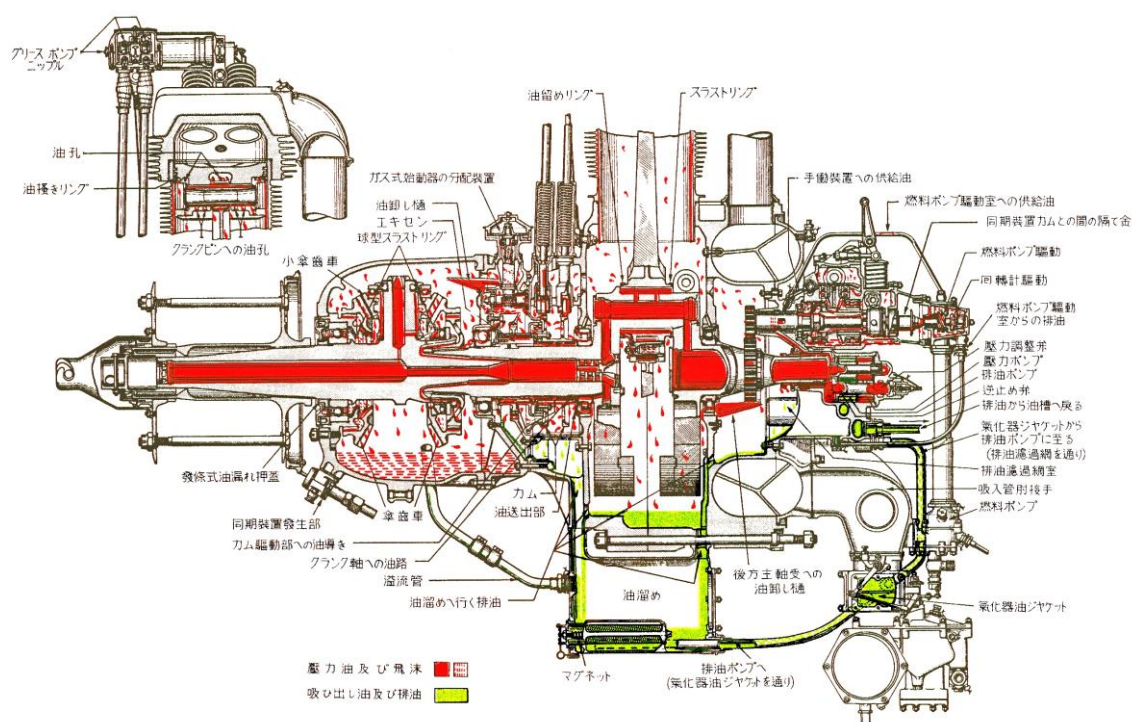
クランク軸は前後 2 ピースのボルト組立式。図は粗略で Wright の流儀とは若干、異なる  
 方式が採用されていた。主連桿大端部は当然、一体式。前後主軸受は単列円筒コロ軸受、最  
 前部の主軸受機能を兼併するスラスト軸受には複列自動調心コロ軸受(球面軸受)が奢られて  
 いた。スラスト軸受と前部(ないし中間)主軸受とに挟まれる狭い場所には動弁機構の基幹部、  
 即ち内歯車を用いるカム減速歯車、カムリング、タペットなどが詰め込まれていた。

後蓋の上部にはクランク軸から Gas Starter の分配器を駆動する機構が立上げられてい  
 た。その駆動軸にはまた、Constantinesco-Colley Gun Synchronizer の Generator(油圧パル  
 ス発生装置)と燃料ポンプ駆動歯車とが取付けられていた。コンスタンチネスコ機銃同調装置、  
 あるいは単に C. C. Gear とも呼ばれたこの聯動機構は単発戦闘機の機首に装備された機関  
 銃から発射される弾丸がプロペラと干渉せぬよう、発動機の油圧をクランク軸の回転に合  
 せて拾うことで回転に同調した油圧パルスが発生させ、これにより翅の通過直後の一瞬だ  
 け引鉄をひきねがらせる機構であった。背面や平面から見た前掲の装備図において Generator が

左右に 2 個，“V” 状に突き出ていたのは機首に機銃が 2 丁，装備されていたことに照応している。

続く図 9 は減速比 0.5 のファルマン減速装置が組込まれた *Jupiter VIII FP* 型無過給・高圧縮発動機の潤滑系統図である。主運動部の設計に変更はなかった。それにしても，クランクピン結合部の描写はこちらの方が精確である。この VIII F ないし VIII.F 型の圧縮比を 5.8 から 5.3 に引下げて VII.F 型のそれと同様の過給機を組込めば X 型となることについては先に観たとおりである。

図 9 *Jupiter VIII FP* 型潤滑系統図



富塚 清編「航空ガソリン機関」富塚 清・大井上 博『航空發動機』共立社 内燃機関工学講座 第 9 卷，1935 年，所収，色刷圖版第二。

無過給発動機に逆戻りした VIII 型においては過給機のスクロールの位置に変形“Y”断面の円環が陣取っている。この Y は比較的短いピッチで捩れながら円環内を一周しており，そのことによって各気筒への混合気分配の均斉化に寄与していた。

また，減速装置付き発動機となった VIII 型においてはコンスタンチネスコ機銃同調装置の油圧パルス発生装置がタイミングをクランク軸からではなく，プロペラハブ後部フランジに取付けられた円盤カムの山から直接拾うシカケへと改められていた。従前方式のままでは減速装置歯車列のバックラッシの影響が大きく現れ過ぎるため，かような切換えが断行されたのであろう。発生装置は 1 個となり後蓋部に同期装置カムとあるところからすれば

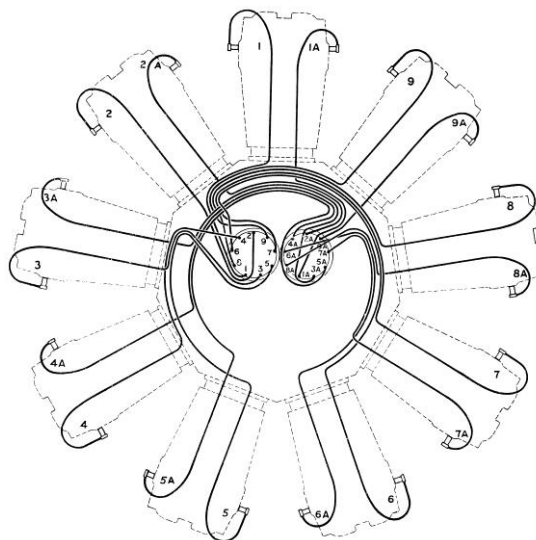
カムにより弁を作動させて機種に装備される 2 丁の機銃に対して油圧パルスを振分けていたものと思われる。また、VIII型においては発動機の始動が従前のガス・スタータから手動慣性始動機へとシンプル化されていたやに観える。

発動機の全体像との絡みで高圧電<sup>ハイデンション・コード</sup>纜の引回しについても触れておく。一般に、航空発動機の点火系には回転が上がるほどに火花エネルギーが強力になる高圧マグネトーが用いられる。*Jupiter* VII型に装備されていた高圧マグネトーについては表 2 で取上げたのみとなっていたが、航空発動機の点火系は通常、マグネトー故障時の安全と正常時の着火性確保のため 2 個のマグネトーからの高圧電纜を各気筒当り 2 個の点火栓に配線した 2 重着火とする。

点火栓の仕様とも密接に関係するが、マグネトーの 2 次コイルに発生する高圧電流が 2 次コイルの端子⇒高圧電纜⇒点火栓ギャップ⇒アース⇒2 次コイルという回路を巡る際、電流の向きによりギャップを飛び越える火花のエネルギーに強弱の差が発生する。これを極性効果と呼び、1 つの気筒の 2 個の点火栓には左右のマグネトーからある瞬間に火花エネルギーが強・弱となる組を選んで、つまり+側と-側とから高圧電纜を各 1 本ずつ引回し、火花エネルギーの気筒間における均等化が図られる。

図 10 に観る *Jupiter* のそれも例外ではなく、星型 9 気筒航空発動機のそれとしてはごく普通の配線であった。蛇足ながら、同図の気筒番号は左回りになっているのは、それが背面から見た図であるためである<sup>8</sup>。

図 10 *Jupiter* VII型における高圧電纜の引回し



*Bristol Jupiter Series VII&VII.F Aero Engines. p.264 Fig.111.*

<sup>8</sup> 点火栓の極性効果や高圧マグネトーの作用についてより詳しくは前掲拙稿「三菱航空発動機技術史 第 I 部」、参照。

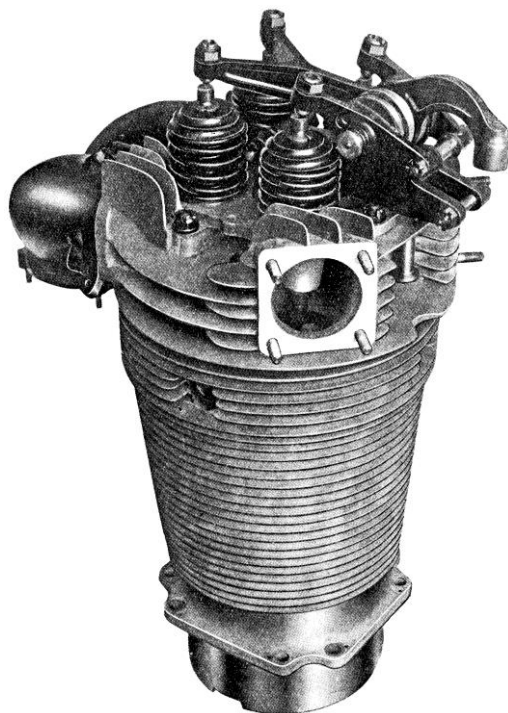


ちなみに、絶縁破壊電圧、言い換えれば点火栓のギャップを飛び越えられるだけの火花を飛ばすためのエネルギーは燃焼室内のガス圧が高いほど高くなる。高オクタンのガソリンを焚く発動機には圧縮比ないし過給圧が高くなる分、強力なマグネトーが必要となって来る。*Jupiter* VII型あたりは航空発動機のかような進化が本格化する直前の作品であった。

### 3. Bristol *Jupiter* VII型およびVII.F型の本体各部構造

図 11 に *Jupiter* VII型の気筒の外観を示す。その設計はもちろん、Al 合金製 Poultis Head を頭部一体鍛鋼品削り出しの気筒にスタッドボルト 11 本とポート周りのセットスクリュー 4 本とを以て面接合させる構造となっていた。密着確保のためには接合面のキサゲ仕上げが不可欠であった。手前、排気ポートの左斜め下に見えている孔は点火栓孔である。

図 11 *Jupiter* VII型の気筒

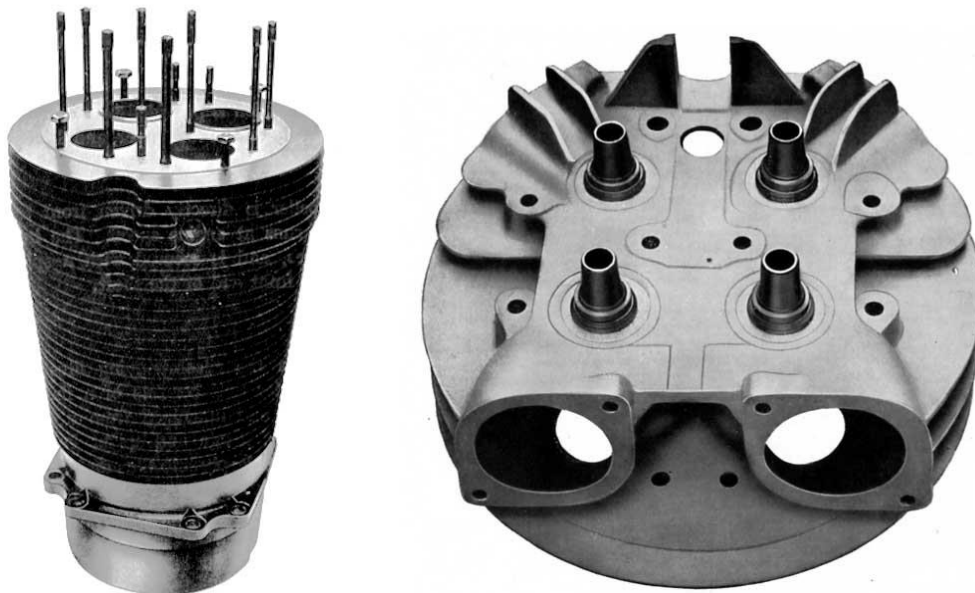


*ditto.*, p.13 Fig.9.

セットスクリューには軽合金と鋼との熱膨張率の違いに対する配慮から特殊な材料が選ばれていた。スタッドボルトは鋼製であったが、設計上、3本は短いもの、8本は長いものとなっており、長い8本には熱膨張率の差を補正するため、熱膨張率極小な Inver 合金製のスペーサが噛まされていた。胴部には27枚の冷却フィンが成形されていた。冷却の均等化を図るため、このフィンは相対的に風当りの悪い後部の方が深くなっていた。

図 12 は *Jupiter* VI型における気筒胴と Poultis Head の写真である。構造的にはVII型のそれと大同小異ながら、フィンの枚数は却ってVI型の方が3枚多かったようである。

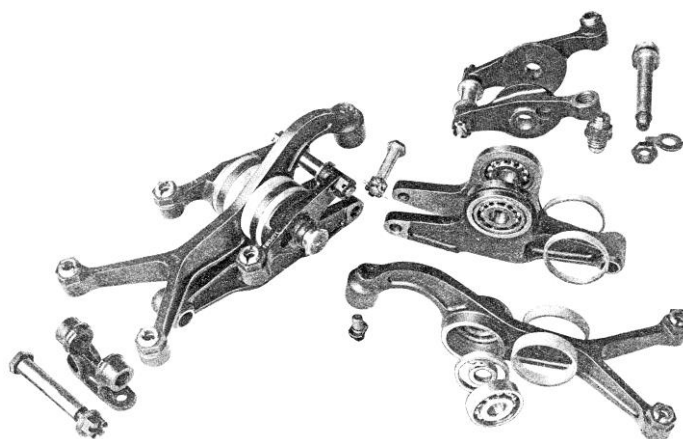
図 12 *Jupiter IV*型における鋼製頭部一体気筒と Al 合金製 Poullice Head



The Bristol Aeroplane Co.,Ltd. *Manual for the Care and Maintenance of Bristol Jupiter Aero Engines Type : Jupiter I. Series IV.* 1926. p.12, Fig.3, p.13, Fig.4.

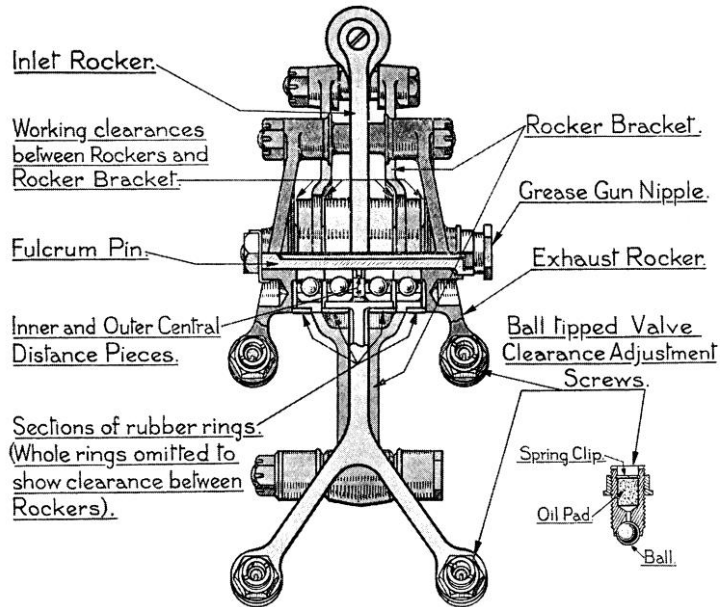
図 13 はVII型のロッカーAssey とこれを部品展開した写真，図 14 は組上げられた状態での部品説明図である．長い“Y”型が吸気，短い“Π”型が排気ロッカーである．弁すき間調整ネジ部の潤滑は手差し給油に依っていたことがわかる．

図 13 *Jupiter VII*型のロッカーAssey とその部品展開写真



*Bristol Jupiter Series VII&VII.F Aero Engines.* p.39 Fig.28.

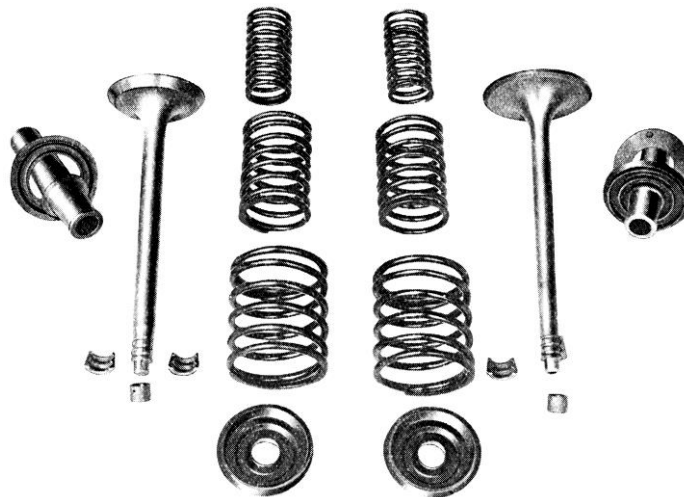
図 14 *Jupiter* VII型のロッカー部品説明図



ditto., p.40 Fig.29.

図 15 に *Jupiter* VII型の吸排気弁回りの半分を部品展開した写真を示す。弁バネは3重であった。コイルスプリングを多重化する際にはこのように巻方向を互い違いにして用いる。これはバネ同士の絡み合いを避けるためである。

図 15 *Jupiter* VII型の吸排気弁回りの部品展開写真



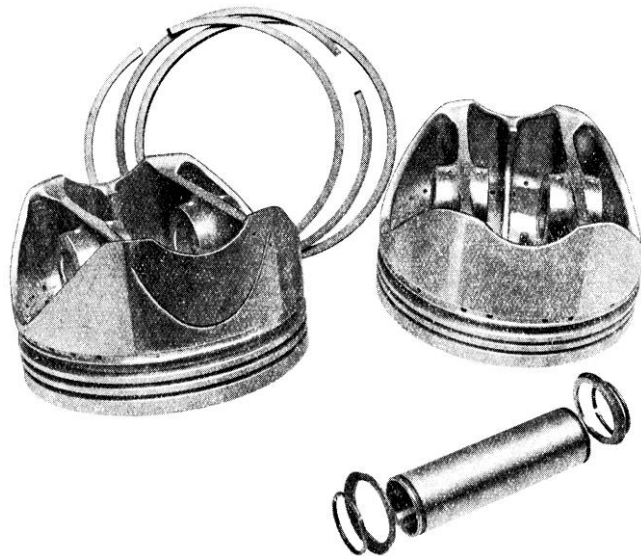
ditto., p.53 Fig.38.

図 16 は *Jupiter* VII型のピストン回りを示す。所謂、スリッパ型のピストンである。圧縮リングは2本で、上から3番目のリング溝にはオイルリングが与えられていた。VII型に



おいては当初用いられていた側圧側のスカートだけを長くした旧型ピストン(VII型と共通. Salmson[仏]にも類例)は両側ともやや長いスカートとし, 双方とも裾に扇型切欠きを入れた新型ピストンへと置換えられている. 図はこの新型を示す.

図 16 *Jupiter* VII型のピストン(左が主気筒用)



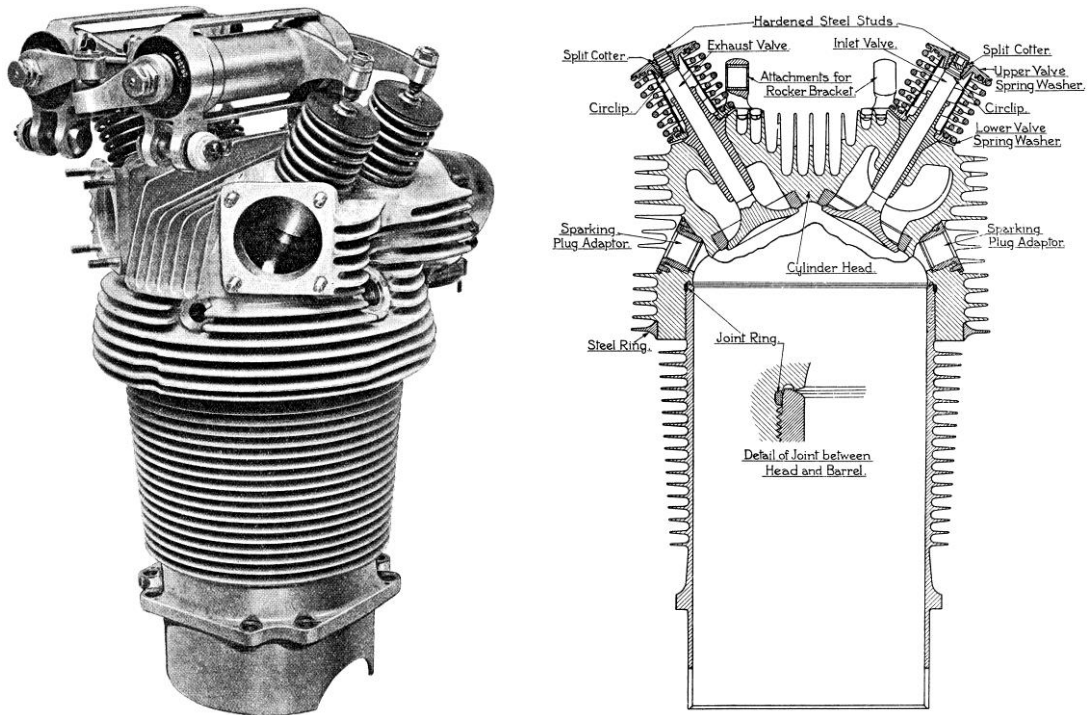
*ditto.*, p.21 Fig.15.

側圧・反側圧方向, 即ち図の前後方向でスカートに扇型切欠きが入れているのは下死点付近で隣接気筒ピストンのスカート同士を干渉させぬための措置である. また, 主気筒(6番気筒)ピストンである同図左側のピストンにおいてはさらなる改良が施されている. 側圧・反側圧側の側面は縦に研磨されてあらゆる引っ掛かりの傾向が排除され, セカンドおよびサード・ランドはその厚みを増してピストン強度が高められ, ピストン・クリアランスは詰められ, 摺動面には保油性を高めるため油溝が彫られ, オイルリング溝の側圧・反側圧側摺動面に対応する区間の底に穿孔されていた各 4 個の排油孔は補油性を向上させるために廃止された. ピストンピンは浮動式であった.

続いて, VII.F 型へと眼を転じよう. 図 17 はVII.F 型の気筒の外観とその縦断面を示す. 気筒頭は軽合金鍛造・削り出し品で気筒胴にねじ込み・焼嵌めで永久結合された. 接合部には銅環が挿入され, 頭部の下縁には補強のための鋼環が嵌められていた. 頭部が大きくなった分, 気筒胴のフィンが 17 枚と少なくなった. 気筒は上述のとおりVII型よりも深くクランク室に差し込まれた. このため, 隣接気筒相互間の干渉を避ける策として気筒スカートにも扇型切欠きが施された.

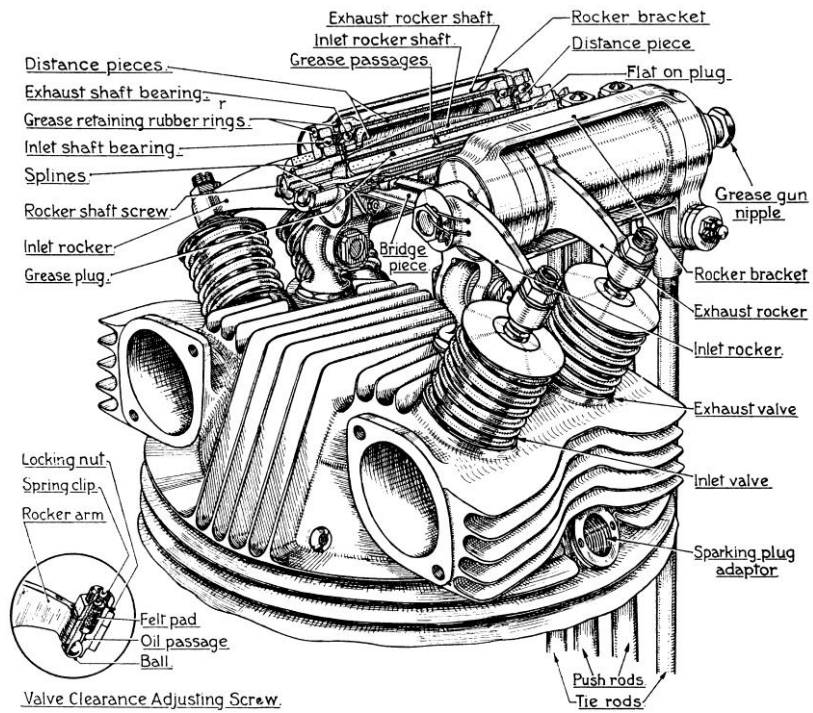
吸排気弁には  $60^\circ$  の挟み角が与えられ, 燃焼室形状はペントルーフとなった. 弁座環は Al-Ni ブロンズ製で頭部にねじ込み・焼嵌めの上, カシメられ, 燐青銅製の点火栓座にはねじ込み・焼嵌めの後, 回り止めのピンが打込まれた.

図 17 *Jupiter VII* 型の気筒



*ditto.*, p.16 Fig.10, To face p.16 Fig.11.

図 18 *Jupiter VII.F* 型気筒頭の機構解説



*ditto.*, p.45 Fig.33.

図 18 はVII型のそれにも増して錯雑化したVII.F 型気筒頭の機構解説図である。ここでもVII型同様のロッカー軸々受のグリース潤滑，ロッカー端部，弁すき間調節ねじ部の手差し給油の実態が観取されよう。

図 19 はそのVII.F 型の複雑を極めたロッカー回りの部品展開写真である。

図 19 *Jupiter VII.F* 型ロッカー回りの部品展開写真



*ditto.*, p.50 Fig.35.

図 20 はVII.F 型の吸排気弁回りの半分を部品展開した写真である。弁バネはVII型と同様の3重ながら，インナーには竹の子バネが用いられている。航空発動機の黎明期には弁バネとしてこのバネがしばしば使用された。これはコイルばねに折損の不安があったことに加え，バネ板間の摩擦による振動減衰効果が期待されたことに由来する選択であった。

図 20 *Jupiter VII.F* 型の吸排気弁回りの部品展開写真



*ditto.*, p.55 Fig.39.

竹の子バネ採用の当否やVII.F型における具体的な採用動機については不明ながら、同じVII.F型でも製造番号の大きな個体においてはこのインナー・スプリング自体が廃止されてしまっている。

図21はVII.F型のピストン回りを示す。主気筒ピストン以外のピストンはクリアランスが若干、詰められた点を除けばVII型の対応物(新型)と同じ基本設計であった。主=6番気筒ピストンは側圧側のみに他の8個のピストンにおけるよりも大きな扇型切欠きが施され、反・側圧側の扇型切欠きは廃止された。その他の点についてはVII型の対応物と同様であった。

図21 *Jupiter VII.F*型のピストン回り(右が主気筒用)



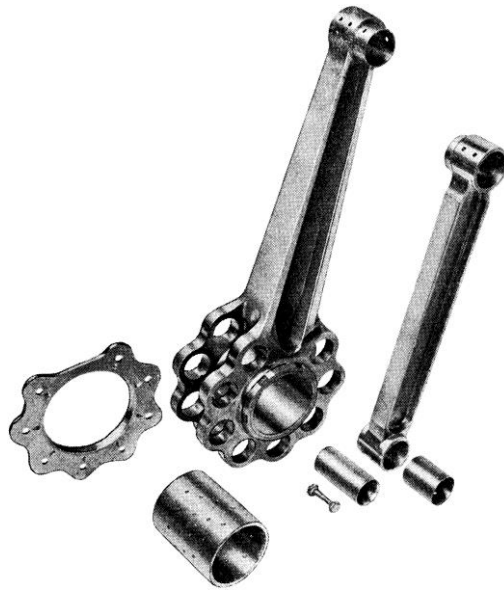
*ditto.*, p.22 Fig.16.

なお、VII.F型におけるピストンリングの合口すき間はVII型のそれより0.005in.だけ広く取られ、オイルリングはその中央溝幅が拡大された。これにより、オイルリングの有効接触面圧は高上せしめられた。

ここまではVII型とVII.F型とで異なった仕様の部品を紹介して来た。以下は両型式においてほぼ共通の仕様を有する主要部品の紹介となる。

図22は主・副連桿回りを示す。材料は高張力鋼でブシュを収める大端部の孔には当初、表面焼入れされたフランジ付き鋼製スリーブが圧入されていた。図は後期型で、スリーブ固定法はより安全確実な大径のリングナットによるねじ止め式へと改められている(図23)。

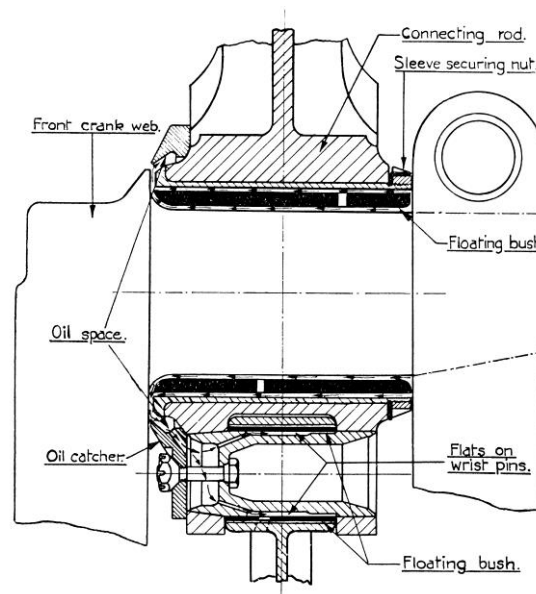
図22 *Jupiter VII*型, *VII.F*型の主・副連桿回り



ditto., p.23 Fig.17.

大端軸受はホワイトメタルを両面にライニングした燐青銅製ブッシュで、大端部に対しては直径にして 0.0035in., クランクピンに対しては同 0.0025~0.0030in.のすき間が設定されていた。軸方向すきまはブッシュについては 0.006in., 連桿については 0.004in.許容されており、ブッシュは自由に浮動し得た。ブッシュには潤滑促進のための孔がまばらに穿孔され、それらの開口部は内外ともに面取りされていた。

図 23 大端部の構造と潤滑への配慮



ditto., p.24 Fig.18.

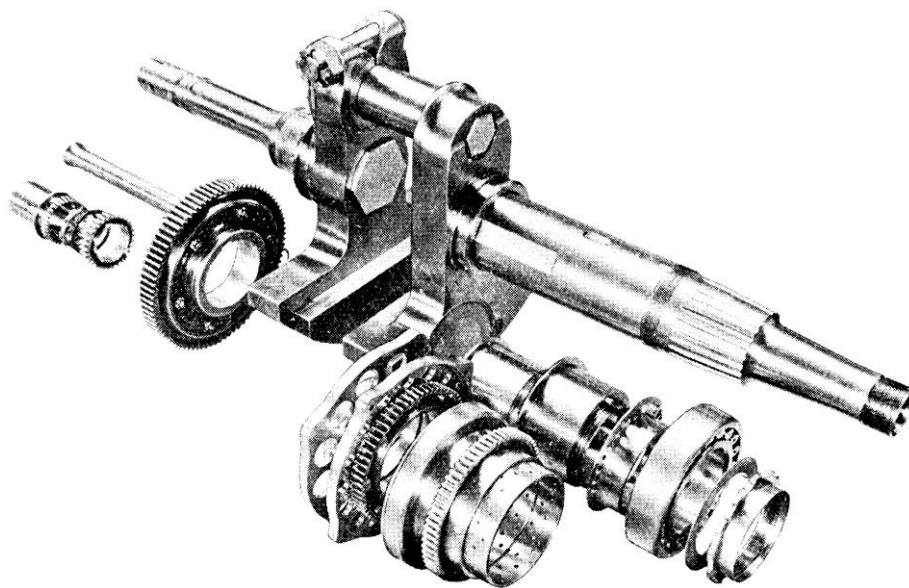
クランクピンの油孔から大端部軸受へと押込まれた油をいきなり飛散させることなく、一旦、リストピン軸受の有効な潤滑へと回流させることは星型航空発動機設計上の要諦の一つであった。図 23 の Oil catcher はこの課題に対する Bristol の解答例をなす。

もっとも、かくすれば、大端部フランジへのリストピン孔加工も油孔穿孔を含むリストピン自体の工作も著しく面倒となったことについては疑う余地のないところである<sup>9</sup>。

続いてクランク軸に眼を転じよう。2 ピース組立構造のクランク軸(図 24)は Cr-Ni 鋼製鍛造・全面機械加工品。ウェブのクランクピンと反対側延長部は釣合錘となり、そこには穴を<sup>うが</sup>穿って鉛が封入され、さらに後付けの釣合錘によって蓋がなされていた。錘の取付は“ほぞ”とボルトによっており、ボルトは緩み防止のためにカシメられたから、後付け錘は永久結合の体をなしていた。

クランクピン結合部の構造は 1 本のクランプボルトによる Wright 的な構造であったが、図 9 や図 23 にも示されていたように、後部ウェブ側に三角キーが、ピン側にその受け溝が工作されていた点において単純円筒の組合わせによる Wright 式との相違があった。

図 24 *Jupiter VII* 型のクランク軸回り



*ditto*, p.10 Fig.7.

---

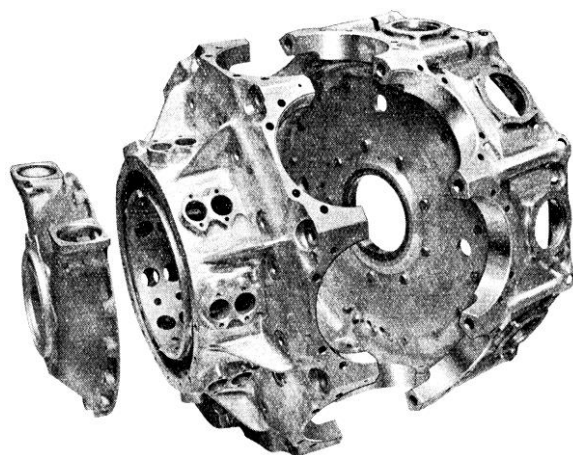
<sup>9</sup> 複偏差の影響を相殺するためにリストピン取付半径を段階区分することが必要となることについては前掲拙稿「三菱航空発動機技術史 第三部」を、リストピン孔穿孔を含む大端部の工作法、とりわけ治具の使用法や特殊な多軸ドリリング・ヘッドの使用例については拙稿「空冷星型航空発動機部品の機械加工と治具」(『ツールエンジニア』誌掲載の後→IRDB), をご参照頂きたい。

図 24 の最前列はカムリングとその減速歯車，中段はクランク軸スリーブ，カムリングを担持するカムスリーブ・ブシュ，カムリング減速用内歯車の噛合いを確保するためのエキセントリック，エキセントリック・リング，スラスト軸受，スラストナット・ロックプレート，スラストナットである．また，後部クランク軸の横に見えるのは過給機駆動歯車，分配器および C.C. Gear Generator 駆動用副軸である．

前後分割構造のクランク室(図 25)はジュラルミンの落し鍛造→全面機械加工→サンドブラスト仕上品．これは高級なしかし当該部位には汎用されることになる構造技術である<sup>10</sup>．

前蓋にはスラスト軸受，前部クランク室には前部主軸受，後部クランク室には後部主軸受とブロー・ケーシング(過給機回転部品の支持体)，さらには渦形室，後蓋がそれぞれ取付けられる．VII型とVII.F型とでは主軸受の組付け法が若干，異なっていた．なお，9本のクランク室組立ボルトは<sup>エンジンマウント</sup>発動機架への発動機取付ボルトを兼ねていた．

図 25 前蓋とクランク室前後ピース



ditto., p.1 Fig.1.

#### 4. Bristol Jupiter VII型の過給機

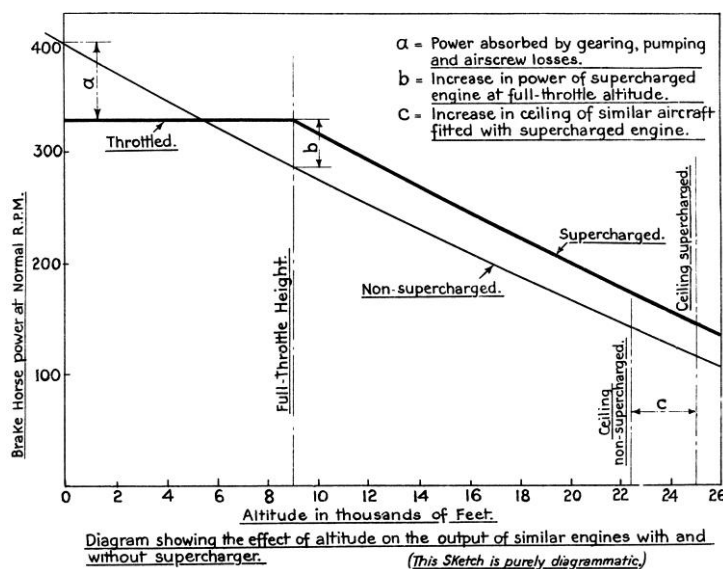
図 26 は過給発動機の出力行性を無過給発動機との比較において視覚化した概念図である．これは実際の性能曲線とは大いに異なっている．先ず，無過給発動機の出力行性について観れば，その出力は単調な右下りの曲線として描かれている．これは高度上昇と共に大気密度が低下し，発動機が 1 サイクルないし単位時間内に焚くことの出来る燃料が少なくなっていく状況を表現しているが，実際にはある程度の高度までは大気温度の低下に因る充填効率の向上が絡んで来るから，単調な右下りの出力曲線とはならない．

<sup>10</sup> 拙稿「国産空冷星型航空発動機 of 材料」(→IRDB)，参照．

過給の有無に係わらず、航空発動機は地上では全開運転に耐えられない程度に軽く、華奢に造られている。地上で全開にできるほどの強度を与えておけば、それは大気密度の下った高空では純然たる駄肉へと転ずるからである。

航空発動機は離陸時、離昇出力として短時間許容馬力を発揮することを求められるが、離陸に成功し安定上昇に入れるようになれば、スロットルは一旦、絞られる。そこからは高度上昇・外気圧低下と共にスロットルは発動機を壊さぬ範囲を守りながら徐開されて行き、ついには全開へと達する。この時の高度を全開ないし公称高度、出力を公称出力と呼ぶ。図の無過給発動機においてはそれぞれ 9000ft., 280HP がそれである。

図 26 過給発動機と無過給発動機の概念的性能曲線



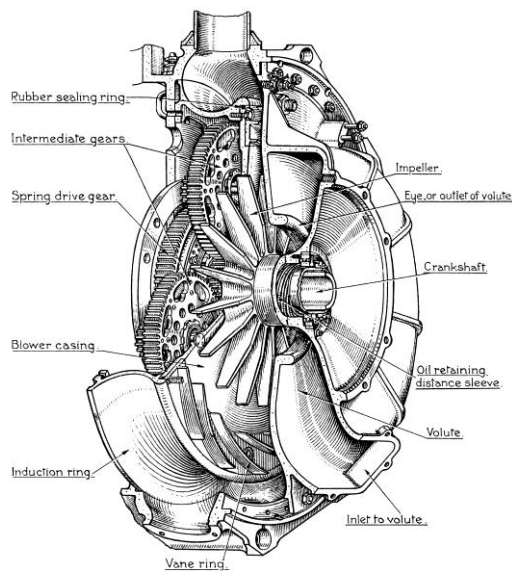
ditto., To face to p.86 Fig.56.

航空発動機が過給される場合の目的は陸船用・車両用機関におけるような地上出力の増強にではなく、高空出力の低下補償にある。過給発動機の地上出力は過給機駆動損失  $a$  により無過給発動機のそれより低下しているように描かれている。これも実態とはやや異なるが、機械式過給機においては“ $a$ ”なる損失が確かに存在する。9000ft.までの水平部分は絞られたスロットルが徐開されて行き、全開まで到達して行く過程を示す。この間、スロットルの徐開によって過給圧は制限ブーストと称する発動機を壊さない一定の値に保たれ、発動機は高度が増しても一定の出力を発揮し続ける。本図において全開高度は 9000ft., 公称出力は 325HP と描かれている。この“ $b$ ”なるマージン、45HP ほどが過給による高空出力補償効果である。この過給機ではそれ以上、高度上昇・外気密度低下が続けば出力補償は不可能となり、上昇に連れて発動機出力は低下して行く。出力が 150HP 程度まで減退すれば上昇力は低下し、実用上昇限度に達する。無過給発動機装備機体のそれは 22300ft.程度であったが、過給発動機装備機体におけるそれは 25000ft.程度となっている。



図 27 はVII型に装備された機械式 1 速過給機の部分カット図である。クランク軸に取付けられる駆動第 1 歯車(図 24 左)は Spring drive gear と呼ばれた。これが 3 つの Intermediate gears のピニオンを駆動し、これにスプライン結合されたギヤがインペラ軸のピニオンを駆動する 2 段増速機構が構成されており、総増速比は上述のとおり 10 であった。

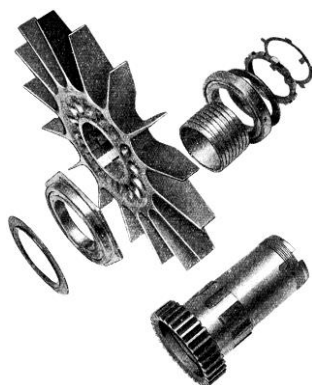
図 27 *Jupiter VII*型に装備された過給機の部分カット図



*ditto.*, p.82 Fig.54.

図 28 はインペラとインペラ軸回りを示す。16 枚の翅を持つインペラは Ni-Cr 鋼鍛造・削り出し品であった。インペラ・ボス側面、ブレード間に展開する穴は軽量化のための肉盗みであるが、後の改良型では環状溝へと変更されている。

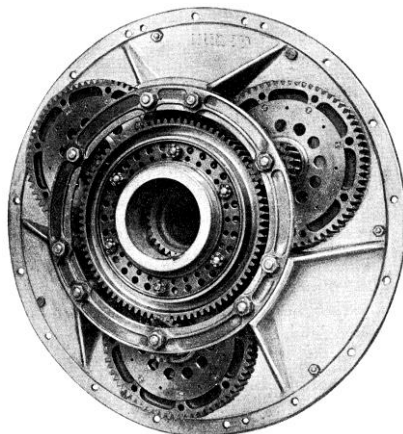
図 28 *Jupiter VII*型の過給機インペラとインペラ軸回り



*ditto.*, p.97 Fig.62.

図 29 はブローア・ケーシングに取付けられたインペラ駆動機構を示す。

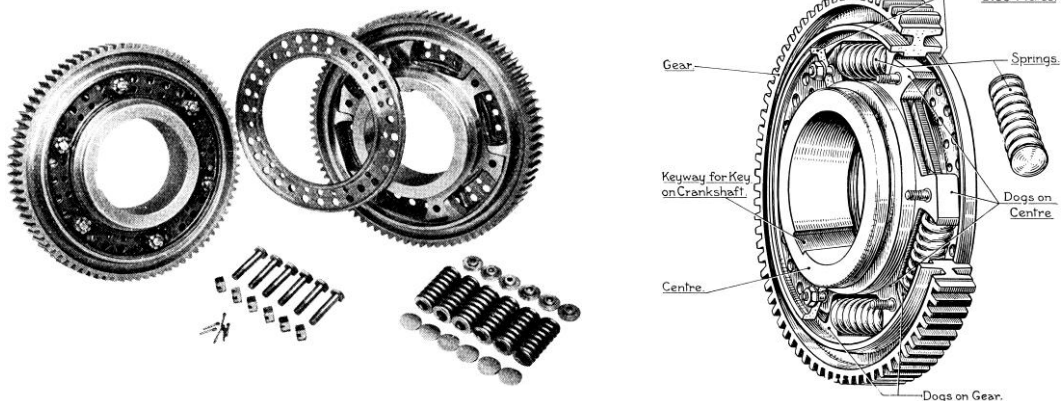
図 29 ブロア・ケーシングに取付けられたインペラ駆動機構



*ditto.*, p.99 Fig.64.

図 30 は Spring drive gear を示す. クランク軸の回転角速度ムラを受け流すための緩衝機構として 5 本のコイルスプリングが組込まれていた.

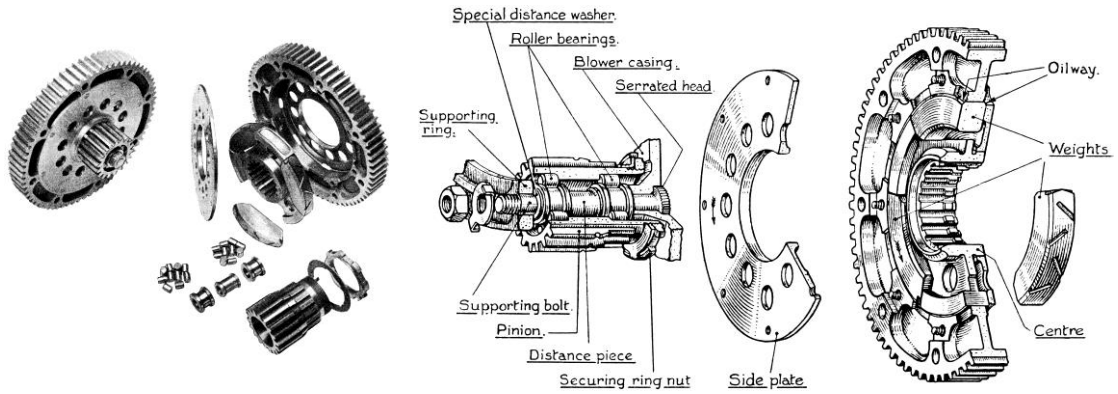
図 30 Spring drive gear



*ditto.*, p.100 Fig.65, p.101 Fig.66.

図 31 は Intermediate gear の 1 つを示す. ピニオンにスプライン結合されることで駆動側として機能する Centre には 3 つの錘が嵌め込まれている. 錘には回転数の上昇に伴って遠心力が作用し, その外周面と従動側をなすギヤのリム内周面との潤滑下における摩擦によって駆動トルクは伝達される. 回転の上昇とともに油は排出され摩擦力は増した. 発動機回転数が急落し, 錘に働く遠心力が低下すれば摩擦力は一気に抜け, それまで高速回転していたインペラはしばしオーバーランニングし続けられることで翅への衝撃は回避される. また, 錘とリムとの摩擦面には再び油が浸潤して来る.

図 31 Intermediate gear

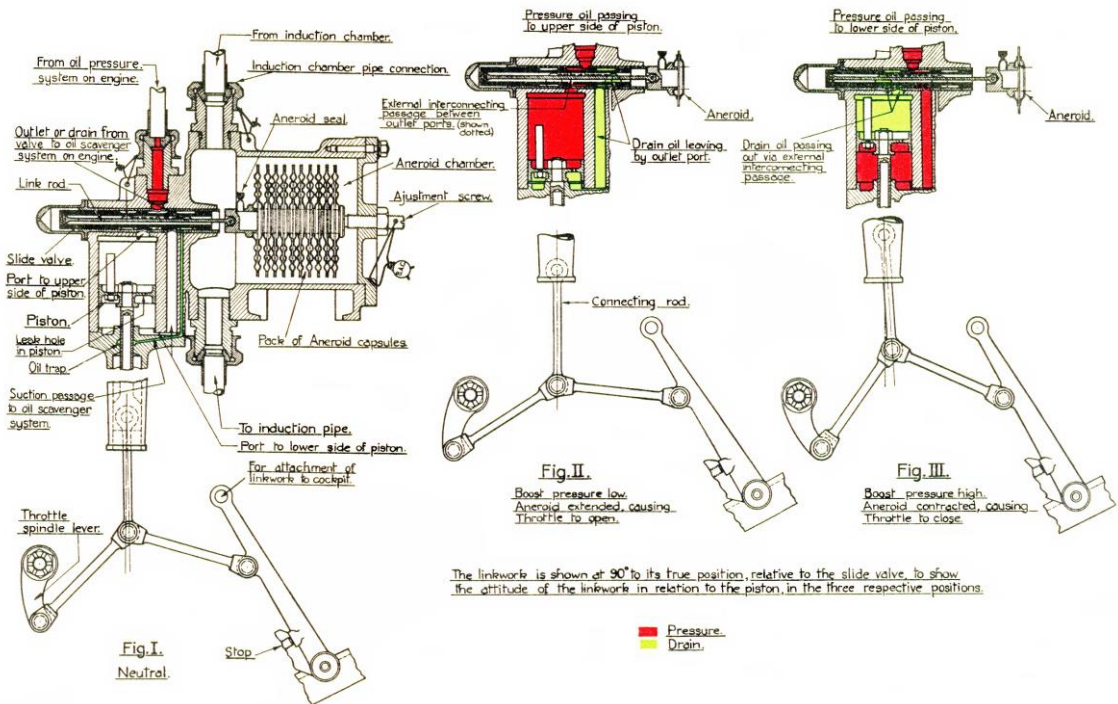


ditto., p.102 Fig.67, p.103 Fig.68.

### 5. Bristol Jupiter VII型の自動ブースト調整器

離陸上昇中、操縦士はブースト計を睨みながら吸気圧が制限ブーストを超えぬようスロットルを扱わねばならない。この煩を自動化によって取除いてくれたシカケ、それがABC(図 32)である。操縦士はスロットルを全開にし続けさえすれば済むようになったワケである。

図 32 Jupiter VII型の自動ブースト調整器



ditto., To face p.88 Fig.57.

装置ないし原理としては吸気圧をアネロイドで検出し，制限ブーストを超えればスロットルを絞り，下回れば開くだけのモノであるが，自動化の方途として油圧サーボ機構を用いているため，信頼性の高い品物を得るには応分の工作精度が求められる．この種のメカにおいては作動原理もさることながら工作精度や材料の耐久性が大いに問われるところである．

図 33 は Bristol 昇流式 3 聯気化器への本 ABC 装備状況を示す．そのコンパクトさが観取されよう．中島飛行機は発動機本体のみならずこの種の補機類からも多くのことを学んだはずである．

図 33 Bristol 昇流式 3 聯気化器への ABC 装備状況



ditto., p.90 Fig.58.

## 6. Bristol 気化器

中島飛行機が Bristol *Jupiter* 発動機の補機類から学んだ技術の最たるものは Bristol *Triplex* (3 聯) 気化器であろう．*Jupiter* 導入段階でのそれは未だに昇流式であったが，これが中島式気化器となり，また，後にはそのベンチュリー部をひっくり返して降流式としたモノが登場するに及んで中島式気化器は戦闘機用発動機界に隆盛を<sup>ほしいまま</sup>恣にする<sup>こと</sup>となったからである<sup>11</sup>．

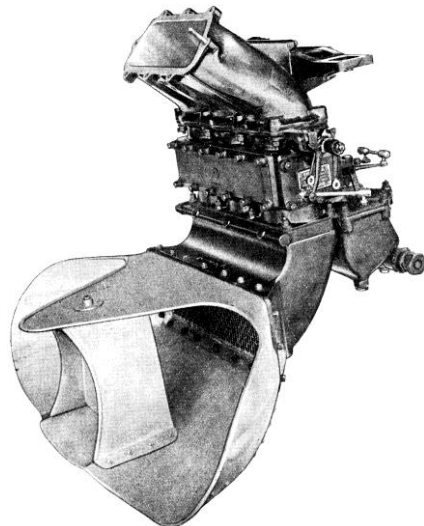
図 34 は Bristol 気化器のコンプリート・ユニットを示す．これは無過給の VI 型に装備されていたそれよりはやや大きな，同じく無過給の VIII 型に装備されていたそれとは同一のエア・スクープを有していた．図の最下段がエア・スクープで，その中央にはスロットルと連動せしめられるシャッター(バタフライ弁)が設けられていた．シャッターが閉じられれば吸気

---

<sup>11</sup> 中川・水谷『中島飛行機エンジン史』増補新装版 209，215~217 頁，水谷『中島飛行機エンジンとともに』83~84 頁，参照．中島式降流気化器については前掲拙稿「三菱航空発動機技術史 第 II 部」をも参照されたい．

はその両側の空間からのみエア・インテーク・エルボを経て気化器へと達することができる。この両側の空間には 5, 6 番気筒が突き出ているため、吸気はこれらを巻きつつ予熱されて気化器に吸込まれることとなる。

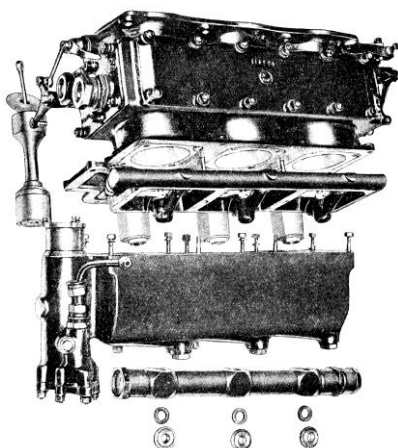
図 34 Bristol *Triplex* 気化器のコンプリート・ユニット



*ditto.*, p.106 Fig.69.

つまり、寒冷な吸気の子熱促進がシャッターの機能であった。シャッターはスロットル開度が  $\frac{1}{3}$  に達した時点で開き始め、スロットルが全開付近となった時点で全開に至った。後には 2 個並列型のシャッターが用いられるに至っている。

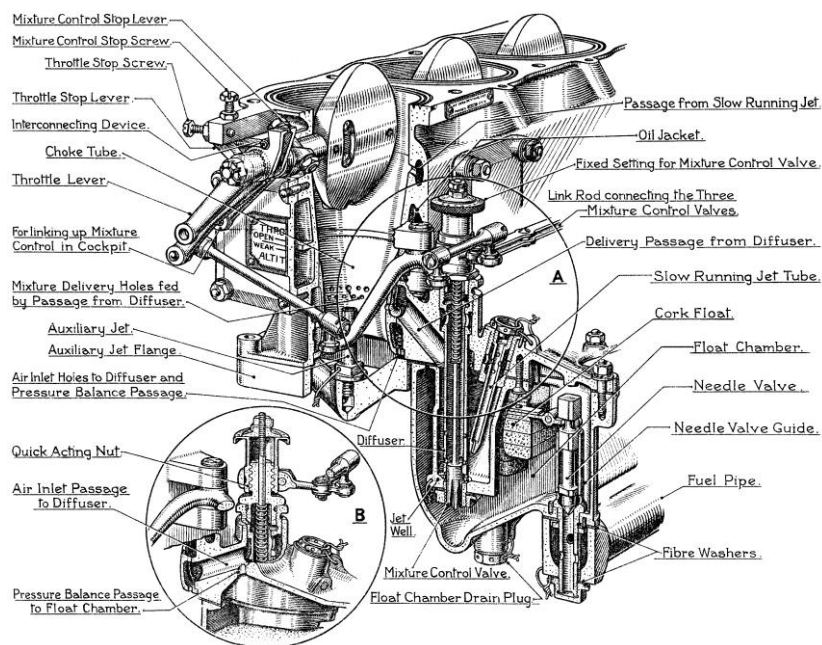
図 35 *Jupiter VII.F* 型用 Bristol *Triplex* 気化器要部外観



*ditto.*, p.108 Fig.70.

気化器本体のスペックはVII型, VII型.F型用ともにベンチュリー径  $1\frac{3}{4}$ in., メインジェット  
 の流率 65~111 pints/h であった. その要部外観は図 35 に示されている. 上がオイルジャ  
 ケット付きのベンチュリー部, 下はフロート室, 左端にぶら下がっているのは加速ポンプ(後  
 述)のピストンである. Bristol *Triplex* 気化器は 2 ステージや 3 ステージ気化器ではなく単  
 一気化器を 3 個, 並列させただけのモノで, 3 つのバレルは単にスロットル弁を同調せしめ  
 られていただけである. 3 個並列とした方が同一性能の単一気化器より占有スペース・重量  
 が節減され, 気体の姿勢変化に対する追随性の点においても優れたようである. 図 36 とし  
 て Bristol *Triplex* 気化器の要部解説図を引いておく.

図 36 *Jupiter VII.F* 型用 Bristol *Triplex* 気化器の要部解説図

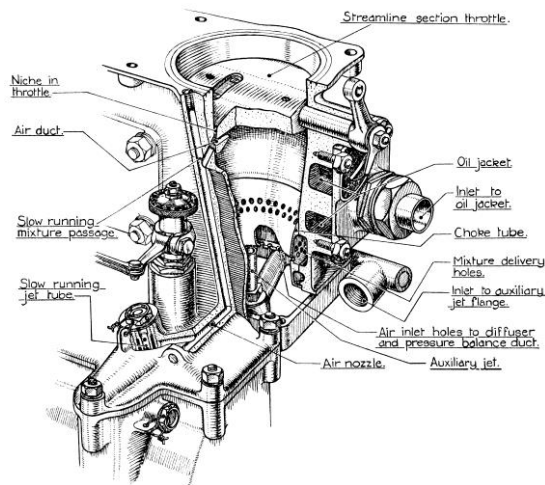


*ditto.*, To face p.112 Fig.73.

右下, フロート室の左方, Jet Well に組込まれているのがメインジェットである. 空気と  
 燃料とからなる気液二相流の流量は単なる圧力差まかせではなく, ここに出入りする  
 Mixture Control Valve によって機械的・積極的に制御された上, Diffuser から Passage を  
 経てベンチュリー部(Choke Tube)に多数, 穿孔された Delivery Holes から吸気流れの中へと  
 吸い出された. このシンプル至極でありながら積極的にして鋭敏な流量制御機能こそが  
 Bristol 気化器の, したがって中島式気化器の戦闘機発動機用気化器としてのイミテーショ  
 ン Stromberg=三菱気化器に対する優越を決定づけた鍵である.

Bristol *Triplex* 気化器におけるスロー系は図 37 に示される通りで自動車や自動二輪車用  
 気化器のスロー系と同じようなモノであった.

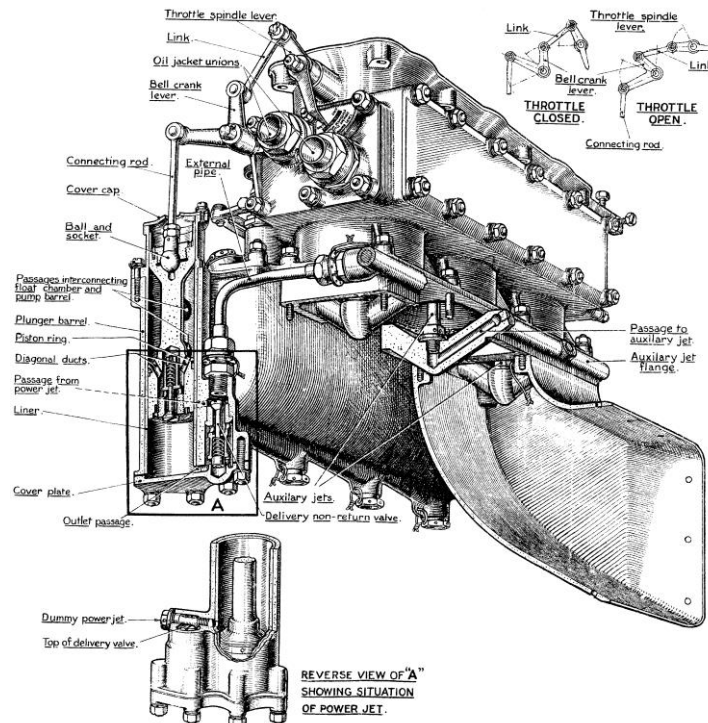
図 37 *Jupiter VII.F* 型用 Bristol *Triplex* 気化器におけるスロー系



ditto., p.109 Fig.71.

*Jupiter VII.F* 型用 Bristol *Triplex* 気化器には加速ポンプが併設された(図 38). 加速ポンプはスロットル急開時にのみ働き、追加の燃料が Auxiliary jet から噴出せしめられた。

図 38 *Jupiter VII.F* 型用 Bristol *Triplex* 気化器の加速ポンプ



ditto., To face p.116 Fig.74.

蛇足ながら、Auxiliary ではなく Auxiliary が正しい綴りである。

## むすびにかえて

*Jupiter* VII型, VII.F型の構造的特質に関して *Bristol Jupiter Series VII&VII.F Aero Engines*. から紹介されるべき要点はおおむね以上である。各部の基準寸法や嵌め合い, すき間の許容限度などに係わるデータは元々, 掲げられていない。それでも, この稿を通じて急速な成長局面にあったピストン航空発動機における個別的な進化のややチグハグでしかなかった様相を仮令, 微視的にではあれ, 具体的な事例の形でひとまず, 共有して頂けるようになったものと愚考したい。

設計データの欠如は遺憾であるが, 元設計屋の回顧も時に無責任をきわめる。水谷はその著書の各所で *Jupiter* の  $S=7.5\text{in.}(190.5\text{mm})$  を「ひよろ長い」などと表現している。しかし, 航空黎明期の無過給ガソリン発動機は飛行船用として当今の陸船用大形高速ディーゼルなみの躯体を持て余すものが珍しくなく, 200mm程度の  $S$  とて例外ではなかった。その仲間の一部は飛行機にも装備されている。ほぼ飛行機専用であった星型においてもピストンカートとの干渉を気にする関係上, 大きな  $D/S$  比や  $S$  に対して小さな連桿長さを取れぬため, 単列9気筒を所与の限界とすれば, 無過給のまま出力を稼ぐには  $S$  を伸ばし, 大径化の途を選択するしかなかった。それが航空発動機技術における進化の途である。

過給機を得たVII.F型など, ストロークダウンによって高回転・高出力型へと転生していれば満点だったのではあろうが, かような進化は後代の課題として積み残されたワケである。ともかく, 「ひよろ長い」 $S$  など誰も好んで選択などしない。かかる言い草は *Jupiter* の真逆を追求した挙句, この国を中途半端な不適用発動機, 譽と心中させた己が歴史を閑却する者にして初めて弄し得た修辞でしかない。

かようにわかり切った理屈を頂門の一針としつつ, 筆者はピストン航空発動機の技術史全般に関しては拙稿「ピストン航空発動機の進化」(→IRDB)において, また, ライバルとの比較の中で観た三菱重工業系ピストン航空発動機の技術史については前掲拙稿「三菱航空発動機技術史 第I部~第III部」において様々な角度から検証と検討を重ねて来た。双方に関連する個別の論考も幾つか発表している。

そのような経過を意識して言えば, 本稿が対象とした *Jupiter* VII型およびVII.F型は空冷星型航空発動機一般の技術史に重要な位置を占めると同時に, 国内で三菱最大のライバルであった中島飛行機における航空発動機ならびに航空気化器技術の形成史の面から観ても極めて重い存在意義を担う発動機であった。

遅きに失した感は否めぬところであるが, この対象を取りこぼしたままに捨て置かず, 表面的にではあれその技術的内容について紹介できたのはひとえに文献との出逢いのお蔭である。この幸運に感謝し, 望蜀との揶揄など聞き流し, 次なる資料との邂逅を期待しながら擱筆する。