

中島 91 式戦闘機の調査 (その 2)

横川裕一*・三野正洋**

A Research on Nakajima Type 91 Fighter Plane. (Part 2)

Yuichi YOKOKAWA* and Masahiro MINO**

To this day, there remain numerous mysteries surrounding the air cooled radial 9 cylinder engine for the Nakajima Type 91 Fighter. This is due to the fact that this engine is based on a complex combination of technologies found in Jupiter VI, VII, Type Ju Siki, Type 94/450 SHP, and Type 94/550 SHP. In this paper, we study each of the engines mentioned above, and also classify them in a rigorous manner, to better understand the engine on the Type 91 fighter. We discuss about the supercharger and the reduction system as well.

キーワード：クラシックプレーン，ジュピターエンジン，空冷星型発動機，中島航空機製作所

1. 緒言

九一式戦闘機の学術調査において精査している多くの項目の中に、その搭載発動機がある。

ここでは、歴史的経緯も踏まえて、九一式戦闘機（以降、「九一戦」という）が搭載した発動機の姿を明らかにし、考察を加える。

2. 九一戦一型の発動機

九一戦の主要生産型である一型は、英国ブリストル社のジュピター発動機を中島飛行機製作所がライセンス生産したものを装備している。

2.1 サー・ロイ・フェッデン

ジュピター発動機は、第一次大戦中から英国のコスモス・エンジニアリング社の A.H. ロイ・フェッデンにより

設計が行われ、大戦末期の 1918 年秋に試作機が 395 馬力を記録している。

1920 年にコスモス社が倒産、ブリストル社へ吸収されたことで開発が進み、1921 年秋のバリ航空ショーに出品されたことで注目を浴びた。



Fig. 1 Sir Roy Fedden¹⁾

フェッデン（1885～1973）は発動機界では高名な技術者で、それまでの発動機気筒全体が回転するロータリー式と異なる「空冷星型固定式発動機」を世に知らしめた人物でもある。彼は多くの発動機を設計し、それらは職人芸的な設計の結晶とされている。ジュピターシリーズ（I～X型）もその一つで、フランス、ドイツ、イタリア、チェコ、ソ連など世界 17 カ国で製造、また多くの機体に搭載されて商業的にも成功を取めた。そして 1942 年、

* (株)ソラン宇宙システム事業部

** 日本大学生産工学部教養・基礎科学系専任講師

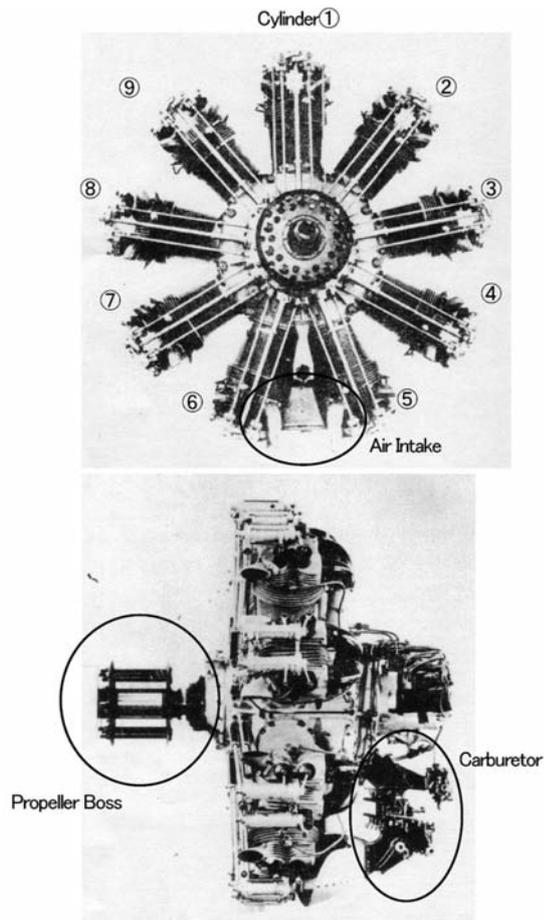
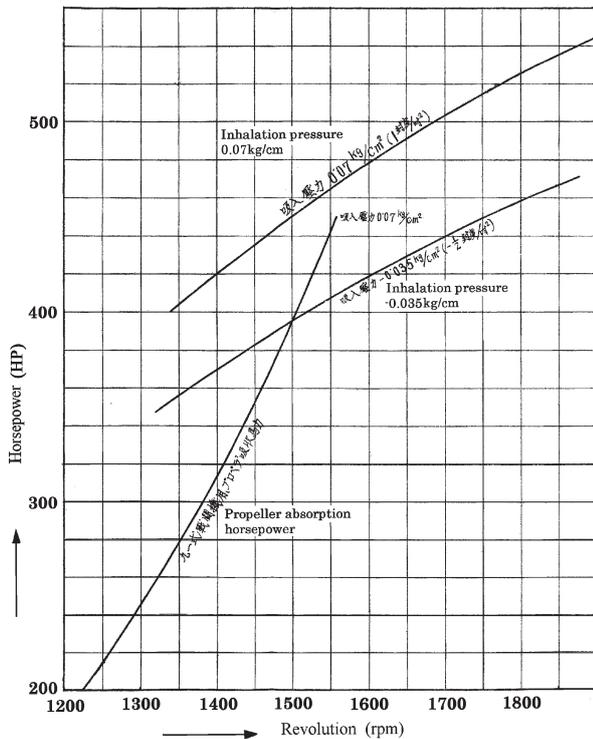


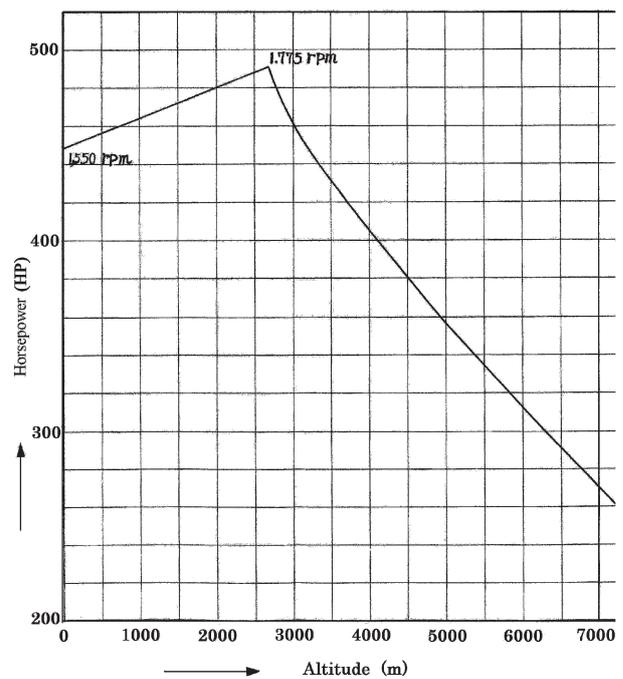
Fig. 2 Front and Left Side view of Type "Ju" 450HP Engine²⁾

Table 1 Type "Ju" 450HP Engine²⁾

| | |
|---|----------------|
| Cylinder | 9 single |
| Boa (mm) | 146 |
| Stroke (mm) | 190 |
| Total Capacity (ℓ) | 28.7 |
| Compression Ratio | 5.3 |
| Normal Revolution (RPM) | 1,775 |
| Normal Pressure (kg/cm ²) | -0.035 |
| Ground Normal Horsepower (HP) | 440 |
| Altitude Normal Horsepower (at 2,750 m) (HP) | 480 |
| Maximum Revolution (RPM) | 1,950 |
| Maximum Pressure (kg/cm ²) | 0.070 |
| Maximum Ground Horsepower (HP) | 540 |
| Maximum Altitude Horsepower (at 2,450 m) (HP) | 570 |
| Supercharger Ratio | 10 |
| Fuel Consumption Ratio (g/hp/h) | 240~250 |
| Weight (Dry) (with Fuel pump) (kg) | 410 |
| Length (m) | 1.230 |
| Diameter (m) | 1.345 |
| Reduction | Direct |
| Revolution Direction | Anti-clockwise |



(a) Power curve on ground



(b) Power curve of high altitude

Fig. 3 Performance profile of Type "Ju" 450HP engine ; Left : Ground Power Curve, Right : Altitude Power Curve²⁾

フェッテンには数々の発動機開発の功績により、ナイト (Knight) の称号が与えられている。

2.2 ジュ式発動機

このジュピター発動機の製造権を中島飛行機製作所が購入したのは1925年の晩秋で、契約日付は同年12月31日。1927年(昭和2年)春にはブリストル社から生産指導のために3人の技師が来日し、翌年秋頃から中島におけるVI型のライセンス生産が立ち上がっている。

同社が生産したジュピターは、以下の4形式である。

- ・VI型
- ・VII型 (VI型の過給機付き, 昭和4年より生産, 九一戦量産機は本型装備)
- ・VIII F 型 (ファルマン式減速装置付)
- ・IX F 型 (ファルマン式減速装置付)

VI型は1929年(昭和4年)4月に海軍へ採用されて三式艦上戦闘機一型(中島)に搭載, 民間旅客機フォッカー・スーパーユニバーサル(中島でライセンス生産)や愛国1号(ユンカース K 37)にも使用された。九一式戦闘機の試作機(NC機)も同様である。

陸軍制式名称は「ジュ」式420馬力発動機, 「ジュ」式450馬力発動機(ジュピターVII型)となっており, 後者には九一戦用の一型, 九三式双軽爆撃機用の二型がある。

2.3 ジュ式発動機の概説

ジュ式450馬力発動機の外観, 諸元表, 性能線図を示し, 以降, 特徴的な項目について概説する。

なお, 外観を **Fig. 2**, 諸元表を **Table 1**, 性能線図を **Fig. 3** に示す。

(1) 素材

本発動機のピストン, シリンダはともにアルミニウム合金である「Y合金」(Al-Si-Cu-Mg系)の鍛造品である。これは耐熱性に優れており, 現在でも使用されている。

(2) 点火系

点火系は, 左右2個の磁石発電機(マグネト), 点火時期調整器などからなり, 前者は国産のほか, 外国製の2種が装備されていた。

この磁石発電機はクランク軸後端の歯車により駆動され, クランク軸の1.125(1と1/8)倍の速度で回転する。

点火栓は「テルコ社製 M 82」, 各シリンダに2個ずつ装着され, 左右の磁石発電機へ別々に接続することで点火の確実性を高めている。

本発動機は4サイクル式で, 各シリンダへは写真中の①→③→⑤→⑦→⑨→②→④→⑥→⑧と一つ跳びで点火される。この間にクランク軸は2回転(すなわち各ピストンが2往復)し, 吸気→圧縮→燃焼→排気の1過程を成す。

(3) 過給機

本発動機には, 飛行高度によって減少する空気密度に

より発生馬力が低下するのを補う過給機(スーパーチャージャ)が装備されている。これは圧縮空気を作り出して供給するものであるが, 当時の過給機は「与圧器」と呼ばれており, 諸元表に「最大与圧力」という項目があるのはこのためである。

ジュ式発動機の過給機は機械歯車式で, 発動機出力の一部を用いてクランク軸の10倍速で遠心式のインペラ(扇車, 羽根車)を回転させ, その遠心力で空気を圧縮してシリンダに送り込む。過給機は気化器の上流に置かれるものとシリンダの中間に置かれるものがあるが, 星型発動機では構造的な制約から後者が多く, ジュピターも同じである。

性能曲線を見ると高度2,750mまで発生馬力が上昇している。これは, 特定高度で絞り弁を全開にできるように過給機が設計されているためで, それ以下の高度で絞り弁全開とするとシリンダへの流入空気量が多くなって異常燃焼がおき, 発動機が破損してしまうからである。つまり, 気化器の絞り弁は, 特定高度まで全開にできない方式であることを示している。この高度を「正規高度」や「全開高度」と呼び, 一定の高度にのみ対応しているものを「1速過給機」, ギア等で2つの高度に対応できるようにしているものを「2速過給機」と呼ぶ。ジュ式発動機は, 1速過給機である。

九一戦の操縦教程でも, 「離陸時には最大与圧力までは開き得るが, 寿命を短縮し故障の原因となるため短時間(5分以内)とし, 正規与圧力にとどめるよう操作すべき」とある。

2.4 ジュ式発動機の意義

中島がジュピターの製造権を入手した時点ではまだ「先物買い」の感があり, のちに日本製航空機のエンジンが空冷主流となった事実を知ると, 同社の決断は高く評価されるべきである。

また, 当時の陸軍の第一線機はみな水冷発動機を使用しており, 空冷に十分な使用実績を持っていないこの時期において, 国産初の戦闘機試作に空冷星型発動機を採用したことは, 陸軍の意向が垣間見える。すなわち, 水冷はラジエタの開け閉めに関する操縦者の操作の負担が多く, 整備にも労力を要することから, 手のかからない発動機を空冷星型発動機に求めたのではないだろうか。

昭和13年の陸軍資料に, 昭和9, 10年度の実績として次の数値を見ることができる。

現在の規格で言えば, 「定期手入れ」は重整備, 「定期修理」はオーバーホールに相当すると考えられる。九一戦の「ジュ」式450馬力と九二戦の「ベエムベ BMW」式500馬力の比較では, 定期手入れまでの運用時間や所要作業量は両者に大きな違いはないものの, 定期修理までの運用時間は「ジュ」式が「ベ」式の1.2倍長く, 逆に整備の所要作業量は8割強となっている。つまり,

Table 2 Maintenance Record in 1934-1935³⁾

| Type | Maintenance A | | Maintenance B | |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Usage Hour | Usage Man-day | Usage Hour | Usage Man-day |
| Type "Ju" 450 HP | 80~86 | 35~38 | 323 | 94 |
| BMW 500 HP | 77~100 | 33~37 | 263 | 112 |

「ジュ」式は手のかからない発動機だったと言えそうである。

稼働率を示す「運転時間に対してどれくらい時間を整備に要するのか」のMMH/FH^{*1}を計算すると、以下のようになる。

(1) 計算前提

定期手入れまでの「ジュ」式の使用時間を83時間、定期手入れの所要日数を36日、同様に「ベ」式の使用時間を88時間、35日と平均化する。

また定期手入れの単位は「人日」であることから、当時の1日8時間労働（8：00～17：00）とすると、

・「ジュ」式は、36人日×8時間=288時間

・「ベ」式は、35人日×8時間=280時間

となる。

(2) 定期修理

1回の定期修理までに行われる定期手入れは、

・「ジュ」式は3.9回（323時間/83時間）

・「ベ」式では2.9回（263時間/88時間）

であり、定期修理は以下の時間数となる。

・「ジュ」式が、752時間（94人日×8時間）

・「ベ」式が、896時間（112人日×8時間）

従って、整備パターンは次の表のとおりである。

Table 3 Maintenance Pattern⁴⁾

| | Type "Ju" | BMW |
|------------------------|-----------|--------|
| # 1 Usage | 83 h | 88 h |
| # 1 Maintenance | 288 h | 280 h |
| # 2 Usage | 83 h | 88 h |
| # 2 Maintenance | 288 h | 280 h |
| # 3 Usage | 83 h | 87 h |
| # 3 Maintenance | 288 h | — |
| # 4 Usage | 74 h | |
| # 1 Maintenance B | 752 h | 896 h |
| Total Maintenance hour | 1616 h | 1456 h |

^{*1}Maintenance Man Hour per Flight Hour

(3) MMH/FH

以上から、定期修理間のMMH/FHは、

・「ジュ」式では、総運用時間323時間に対し、総整備時間の1616時間から、 $MMH/FH=1616/323=5.00$

・「ベ」式では、総運用時間263時間に対し、総整備時間の1456時間から、 $MMH/FH=1456/263=5.54$

「ジュ」式は定期修理が1回多くなってしまふことから両者は大差ない数字になっているが、定期修理が1回多いにも拘らず同等数値であることは、整備性が高い事実を意味するのだろう。「ベ」式の定期手入れまでの使用時間を最小の77時間で計算すれば、総整備時間は1736時間となり、 $MMH/FH=6.60$ となる。なお、この数値には飛行直前での点検や小整備時間は含んでいない。現用戦闘機のMMH/FH（列線整備時間を含む）は、おおよそ15~20とされている。

2.5 ジュ式発動機の生産数

市販書籍ではジュピターVI型が約150基、VII型が約350基という資料や、全型で600~800基という数字もある。

ただし、九一戦は400機以上生産されており、他機種（陸軍の九三式双軽爆撃機(100機強)、海軍の三式艦上戦闘機（こちらも100機強）にも搭載されており、損耗を合わせると製造数が明らかに少ないように思われる。

軍資料から以下の番号と製造年月が判明しており、これが通し番号とすると1500基以上になる。

・製造番号6508（昭和5年1月）

・製造番号8165（昭和9年3月）

しかし、今後の追跡調査が必要である。

3. 九一式戦闘機二型の発動機

九一戦は昭和8年秋頃から発展型への改修試作が行われており、翌9年6月に報告書が出ている。それには、改造機は九四式450馬力発動機に換装したが、減速式（減速比0.866）では振動が多いため、直結式（減速装置を外した）で飛行審査を完了したという事実が記載）されている。

同報告書にある九四式450馬力発動機の諸元を示す。なお、九四式とは皇紀2594年（昭和9年、1934年）に制式採用されたことを意味する。

二型量産機に関して言えば、二型の機体や二型用プロペラと一緒に調達されていることが他の軍資料から分かることから、二型の発動機も九四式450馬力と見るのが自然である。

しかしながら、九四式450馬力発動機については、どういふ発動機なのかを明確に解説した市販書籍はなかった。そのためここでは、その姿を明確にしたい。

Table 4 Type 94 450HP⁵⁾

| | |
|--|-----------|
| Cylinder | 9 single |
| Boa (mm) | 146 |
| Stroke (mm) | 160 |
| Total Capacity (ℓ) | 24.1 |
| Compression Ratio | 5.3 |
| Normal Revolution (RPM) | 2200 |
| Normal Pressure (kg/cm ²) | 0 |
| Ground Normal Horsepower (HP) | 440 |
| Altitude Normal Horsepower (at 4000 m) (HP) | 495 |
| Maximum Revolution (RPM) | 2400 |
| Maximum Pressure (kg/cm ²) | 100 |
| Maximum Ground Horsepower (HP) | 520 |
| Maximum Altitude Horsepower (at 3600 m) (HP) | 590 |
| Fuel Consumption Ratio (g/HP/h) | 240~250 |
| Weight (Dry) (kg) | 360 |
| Revolution Direction | clockwise |

3.1 九四式 450 馬力発動機

衝程（ストローク）が 160 ミリと短くなっていることから、気筒径 146 ミリと合わせて中島の「寿（ことぶき）」系列であると推測され、それ故か市販書籍の多くは、二型の発動機を「寿二型」としている。

「寿」は昭和 4 年 12 月からジュピターをベースに設計が開始された中島飛行機の国産発動機で、衝程を短縮し、ワズプなどの米国製発動機の技術（特に生産性向上など）が融合されている。名称もジュピターの「ジュ」をもじって「寿」の字を当てたことに由来しているが、両者は全く別物である。「寿」は零戦の「栄」、紫電改の「誉」同様に海軍名称で陸軍名称ではない。陸軍制式機材に制式名称がないことはありえず、この面から「寿二型」説には違和感がある。加えて、この時期（昭和 8 年秋）には減速式の「寿」は存在しない。

一方、陸軍の昭和 9 年度の航空統計資料には試験機の項に「九一戦改 HS 450 馬力」という記録がある。HS は中島の「寿五型」の社内呼称であり、九一戦改造機には「寿五型」が搭載されて試験されたことは間違いない。

「寿五型」は減速装置付きの戦闘機用空冷星型発動機として「寿二型」をベースに昭和 6 年 10 月から設計が開始されたが、減速装置の設計に手間取ったようで、1 年後ようやく一号機が完成した。「寿五型」は複数機種に搭載されたが、いずれも減速装置の振動などで信頼性に欠

けると判断された。九一戦改造機でも減速装置の不調から外されており、減速装置付きが「寿五型」、外したものが「寿二型」という想像も成り立つ。しかし、「寿五型（減速式）」「同（直結式）」という記載のある海軍資料が見つかっていることから、両方が「寿五型」であろう。

すなわち、九一戦二型の発動機は、「九四式 450 馬力発動機で、寿五型（減速式）と同型」が正しい。

3.2 発動機換装の理由

「ジュ」式発動機からの換装理由は軍資料から特定できず、推測するしかない。ただ、その背景は、国産発動機でも信頼できるものが出来てきていたことによる移行であろう。製造権契約が 6 年間（契約開始の 1925 年末から、もしくは生産開始の 1927 年から）であり、失効（または失効間近）も要因かと思われる。

ただし、当初の狙いであった減速機付きではない発動機に敢えて換装した理由は明らかではない。しかも、九一戦二型の生産数は 20 機程度だったとされるため、なおさら換装理由が掴みづらい。

九四式 450 馬力の生産数も不明であるが、九一戦二型以外には本発動機を搭載した制式機が存在しないことから、多くの生産があったとは考えにくい。知りえている軍資料からは、昭和 9～10 年に合計 100 基強が調達されていることが判明している。

4. まとめ

現時点で歴史的に評価すれば、ジュ式発動機は陸軍の意向を実現したのと言えよう。初の陸軍国産戦闘機である九一戦ばかりでなく、他機種へも搭載して実績を積んでいる。

また、発動機製造者である中島飛行機には多くの影響を与え、この時期の同社の発動機部門を三菱航空機の同部門より優位に立たせ、そして何よりも、中島の国産空冷星型単列発動機「寿」が生まれ出る礎を築いた。「寿」は、昭和 10 年台に入っの三菱航空機発動機部門の巻き返しとも合わせて、以降の軍用機が空冷発動機一色に染まって行く過程での主要発動機であり、ジュ式はそのきっかけと位置づけることができるだろう。

一方の九四式発動機は大成しなかったが、そこで得た経験は、以降の「寿」発動機（とくに、減速式）へ導入され、その熟成は後の零戦や隼の活躍に繋がる。

この意味では、九一戦の発動機は日本航空史上、これまで以上に注目されるべきものであり、その啓蒙に本学術調査プロジェクトが寄与できれば幸いである。

参考文献

- 1) (写真) WEB The Transport Archive

<http://www.transportarchive.org.uk/>

- 2) 『「ジュ」式四五〇馬力発動機（一型）仮説明書』
著者，発行所，発行年ともに不明
- 3) 『航空学教程』，陸軍士官学校，昭和13年1月
- 4) 航密第四一九号 九一式戦闘機構造要領改正の件上
申』，昭和9年6月，陸軍航空本部
- 5) 『世界の航空エンジン ①レシプロ編』，ビル・ガン
ストン（見森昭/訳），1996，グランプリ出版
(H 18. 2 . 8 受理)