

Title	三菱内燃機・三菱航空機のV及びW型ガソリン航空発動機(2/6): ルノー, イスパノ・スイザ, ユンカース, 93式, W型
Author	坂上 茂樹
Citation	経済学雑誌, 113 卷 1 号, p.26-55.
Issue Date	2012-06
ISSN	0451-6281
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	Publisher
Publisher	大阪市立大学経済学会
Description	
DOI	

Placed on: Osaka City University

三菱内燃機・三菱航空機の V 及び W 型ガソリン航空発動機 (²/₆)

——ルノー、イスパノ・スイザ、ユンカース、93 式、W 型——

坂 上 茂 樹

目 次

はじめに

1. 力学的諸前提
2. 習作——ルノー 70 馬力
3. 300 馬力型までの三菱イスパノ 90°V 型 8 気筒発動機
 - 1) 220 馬力型まで (以上 (1))
 - 2) 300 馬力型
4. 三菱イスパノ 300 馬力発動機の整備と運用 (以上本号)
5. 三菱イスパノ 60°V 型 12 気筒 450 馬力発動機一型

6. 三菱イスパノ 450 馬力発動機の改良モデル
 7. 三菱イスパノ 650 馬力発動機
 8. 三菱ユンカース「ユ式一型」800 馬力発動機
 9. 93 式 700 馬力発動機 I 型
 10. 93 式 700 馬力発動機後期型
 11. W 型……三菱 470 馬力、海軍 91 式及び欧州系発動機
- おわりに
補 論：90°V8 型発動機用クランク軸の進化

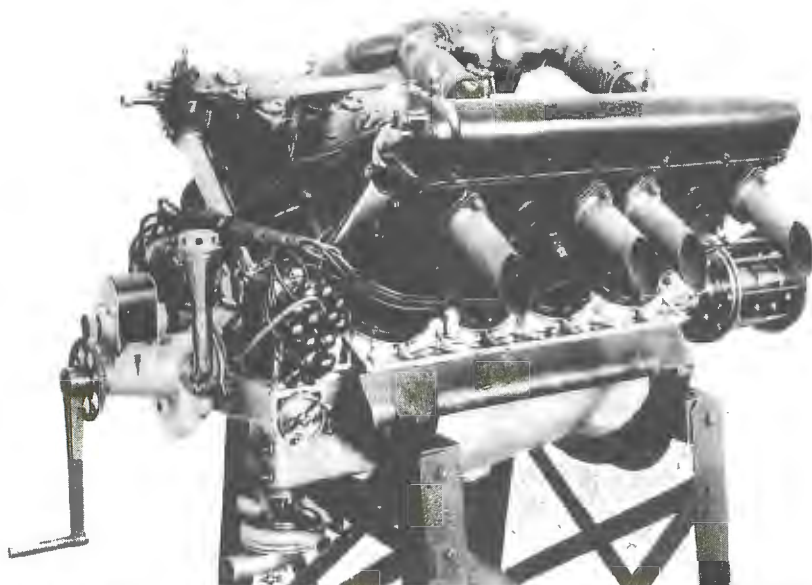
2) 300 馬力型

続いて試作されたのが 220 馬力型と基本構造を全く一にする 90°V8・プロペラ直結式の 300 馬力型発動機 (8V-140×150 mm, $\epsilon=5.3$, 正規出力 300PS/1800 rpm., 最大出力 340PS/1800 rpm., 重量 298 kg) である。本発動機は戦時に大活躍した他, 1920 年 9 月 28 日, 第 6 回 Gordon Bennet 杯で Georges Kirsch 搭乗の *Nieuport-Delage* 機の心臓として, 200 km を 48 分 52 秒 6 で飛翔 (246 km/h 但し, 300 km を 168.6 mph = 271 km/h などとする資料もあり), フランスを 3 回連続の優勝に導き, 同杯を永久にフランスに帰属せしめ, あるいは同年 12 月 12 日, *Nieuport-Delage* 機上の Sadi Lecoinge をして 311 km/h の速度記録を樹立せしめた立役者でもあった。

図 3-13 はイスパノ・スイザ 300 馬力発動機の吸排気弁回りである。弁バネは未だ 2 本である。余り正確な図とは言えないが, 弁案内の構造は 150 馬力型と同じねじ込み式であったと思われる。

然しながら, この“匂”の航空発動機も三菱でのライセンス生産初号機は試運転において短時間に白煙騰々たる状況に陥ってしまった。開放検査したところ全てのピストンのピストンピン・ボス部に亀裂を生じていることが判明した。その材料が高温強度に劣る Zn 系 Al 合金であったことに疑問を抱いた荘田は Y 合金 (Al 合金) と Zn 系 Al 合金の試験片を作製し, これに「電

図3-10 三菱イスパノ 300馬力発動機



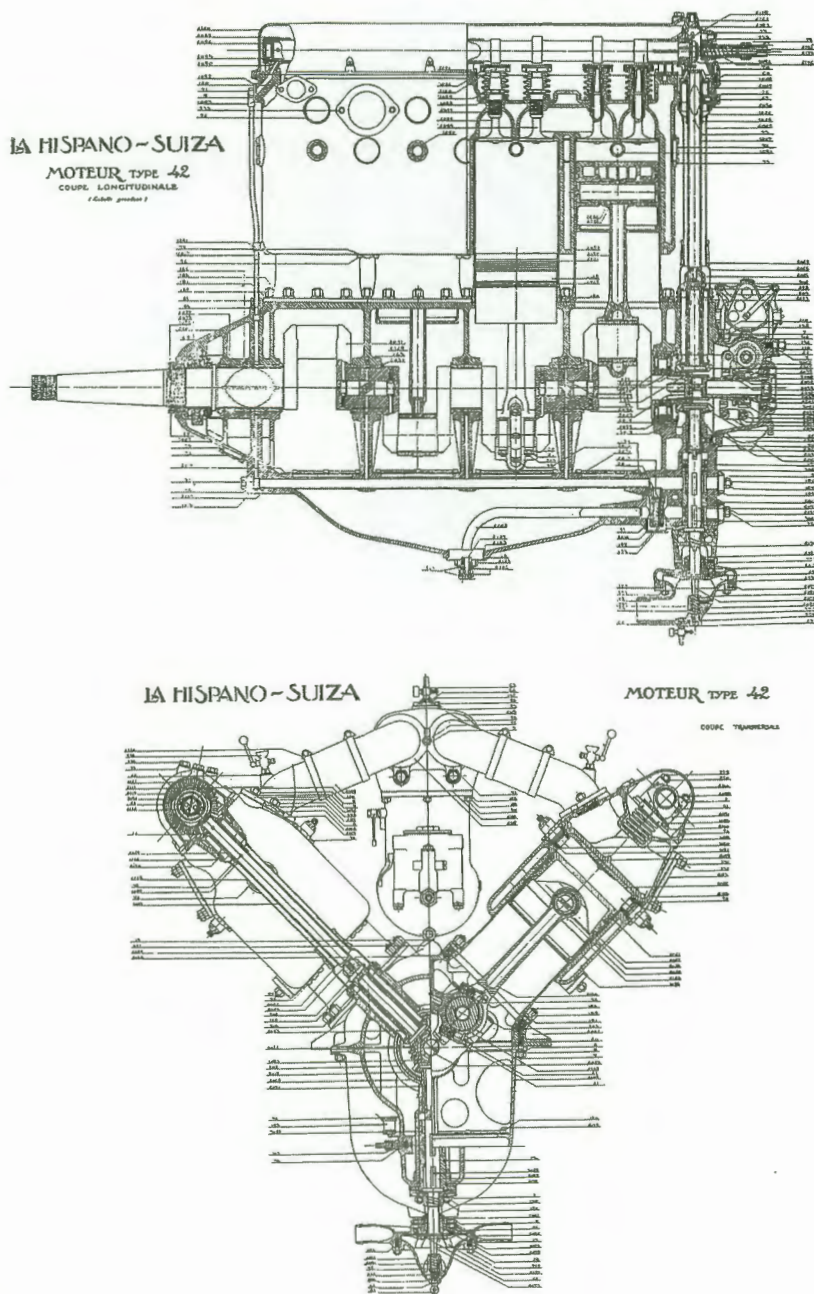
三菱内燃機株式會社名古屋製作所（スイスノバスイ）製三百馬力發動機
当時の繪葉書。

気のヒューズワイヤを巻き付け、トーチランプで加熱、ヒューズが溶けた時点で引張試験機にかけてY合金の優れた高温強度を実証、この材料でピストンを吹き直させ5時間耐久試験合格に成功した¹⁾。

無論、「量産」品になると5時間といったレベルではなく、24時間連続運転試験、国際規格に則った後述の所謂50時間試験等が実施されるようになっていた。些か余談めくが、三菱の航空発動機がルノーからイスパノに移行しても、更には神戸から名古屋大江に移転しても、この発動機試運転や50時間耐久試験は一貫して屋外で実施され、四囲に騒音が撒き散らされていた。これについては「工場の人、道行く町の人など多くの見物人があった²⁾」、工場寮生が「何昼夜かの連続運転で寝られませんでした³⁾」、「とんでもない大爆音がするので、近所の人みんなびっくり仰天して、あわてて雨戸を閉めた⁴⁾」、「天空にうなるプロペラの音響は四辺を圧して、ごうごうたるものであった。そこで二十四時間連続運転をする時は、付近の住民へ何か品物を持参して、喧騒の〆断わり、の挨拶をして回ったように記憶する⁵⁾」、「運転台はすべ

- 1) 莊田『『Yアロイ』ピストンの初テスト』『神戸三菱内燃機五十三年史』98～99頁、参照。当時、一般的であったY合金の規格はCu 4.5%, Mg 1.59%, Ni 1.99%, Fe 0.38%, Si 0.12%, Al 残部。
- 2) 朝井前掲「数々の思い出」『和田岬のあゆみ』上巻、102頁。
- 3) 宮本清次「三十年を顧みて」同、153頁。
- 4) 櫻井俊記「内燃機時代の思い出」『神戸三菱内燃機五十三年史』90頁。
- 5) 隅野卯三郎「クランクシャフトに生きる」同、107頁。

図3-11 イスパノ・スイザ 300馬力発動機 側面、正面図

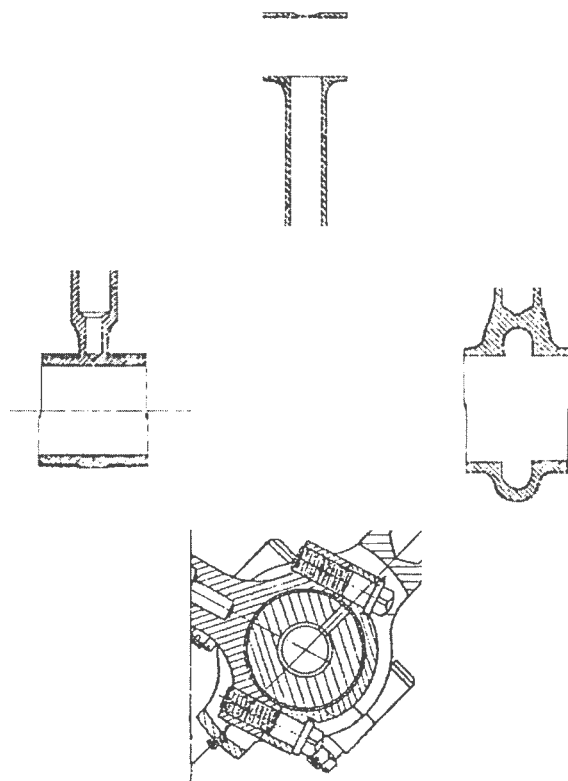


伊東久米藏「イスパノスイザ飛行機発動機に就て」より。

気筒間部ではフランジが互いに食違うように接合され、気筒ピッチ短縮が図られている。従前の作品においても同様であったが、気筒結合用ナットはこの接合部では前後双方のフランジにかかるようになっている。

なお、図に表示の通り、この発動機には“TYPE 42”なる称号が与えられていたようであるが、種々の文献からイスパノ発動機の称号体系として複数の体系が使用されていた事実が確認されるので、本稿では概ね300馬力型などという包括的な呼称を用る。

図3-12 イスパノ・スイザ 300 馬力発動機の連桿詳細 (小端部, ブレード側, フォーク側)



上図よりトリミング、若干修正。

大端部は何れも上下半割構造である。中段左のブレード円筒部に下右のフォーク・エンドが被さる。軸受冠は桿部とボルトで結合される。フォーク（外）側には下段奥のようにボルトとキャッスル・ナットが用いられ、弛み止の割ピンが施される。ブレード（内）側は非常にせせこましい設計となるため、下段手前のようにボルトのみで固定される。割ピンは桿部側の孔出口部に切られた溝とボルト先端部に明けられた孔とを貫くように打たれる。なお、ライトがライセンス生産したイスパノ V8 発動機にはこれと異なった設計が採用されている。即ち、フォーク（外）側連桿がクランクピンを掴むプッシュを担持し、それを掴むブレード（内）側連桿は単なる環状二つ割の大端部を有していた。これは恰も後掲図 5-2 のような設計である。cf. Lage, *Hispanosuiza in Aeronautics*, p. 66 Figure 1-58.

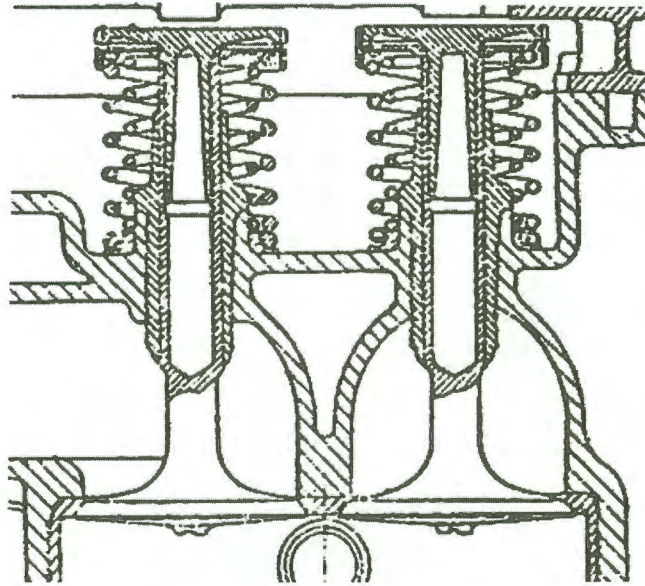
て開放型なので、音は大きく遠くまで伝わり、夏の夜耐久運転をやっていると速く覚王山あたりから電話で『うるさくて寝られない』などと文句も出⁶⁾た、等々の回顧譚が残されている。

三菱に防音型の運転台が整備されるのは 1938 年 3 月、名古屋市東区大幸町（鐘淵紡績より買収の用地）に P&W 流の大平屋棟からなる建屋が竣工し、輸入機械を並べ、7 月、名古屋発動機製作所として新たに開設された我国最大の発動機工場＝大幸工場からである。

なお、上の挿話にある“ヒューズ”とは可融合金 (fusible alloys) の総称である。現在の用語法に則れば、これは概ね 100°C 以下の融点を持つ合金を指すことになるが⁸⁾、往時はより高い融

6) 熊谷直孝「運転屋名古屋での思い出」『往事茫茫』第一巻、329 頁。

図3-13 イスパノ・スイザ 300 馬力発動機の吸排気弁回り



同上。

点を持つ合金までが可融合金と呼ばれていた。その融点は組成によって異なるが低い方なら 60.5°C 程度、高いモノになると 384°C にも達する“高融点はんだ”の如き合金までが含まれていた。莊田の実験に用いられた「電気のヒューズワイヤ」も銅を焼戻す際に用いられた高融点の可融合金と同程度のかかなり高い融点を持つモノであったと考えられる。

可融合金は発動機の激しく動き、熱電対等の温度計設置が困難であるような部位の温度測定にその後も使用され続け、適用温度範囲も拡大せしめられた。測定したい部位に穴を穿ち、内部に空間を残して可融合金の小片を入れて封じ込め、運転後、開放してその熔融状態を観察するワケである。三菱名古屋では 1935 年頃、 $70 \sim 400^{\circ}\text{C}$ の温度指示に適する可融合金を 20°C 以下の融点間隔で系列化し、発動機部品温度の測定に供している。しかし、時代がずっと下れば巧みな熱電対あるいはサーミスタの設置法が開発され、運転中に実時間で温度を計測することが一般化し、可融合金の使用は廃れて行った⁷⁾。

7) 石澤命知・尾形康夫「材試 No. 429 温度指示用可融合金の選擇」三菱重工業(株)名古屋航空機製作所『研究報告』1935年2月, 参照。可融合金の定義の時代による変化については河合匡『金属材料』大日本工業学会, 1927年, 997~1000頁(増刷が重ねられたにも拘わらず表の一部に不備がある), 横田清義・加山延太郎『機械材料[金属編]』下巻, 日本機械学会, 1955年, 445~447頁, 日本機械学会『機械工学事典』1997年, 243頁, 参照。戦後における内燃機関本体各部の温度測定一般については熊谷清一郎・酒井忠美『改著 内燃機関測定法』養賢堂, 1966年, 24~29, 68~73頁, 八田桂三・浅沼強・松木正勝編『内燃機関計測ハンドブック』朝倉書店, 1979年, 88~139頁, 参照。何れにも可融合金についての記述は無い。

さて、三菱イスパノ 300 馬力型発動機については各主要部品の重量に関するデータが手許に在る。これに拠れば：

気筒（片バンク、カム軸伝動歯車込み）29.380 kg

クランク室（上半部、下半部、全体）24.350 kg, 24.550 kg（油ポンプ共）、48.900 kg

ピストン（全体、ピストンピン、ピストンリング）2.020 kg, 361 g, 265 g（6本）

連桿（内側、外側）1.670 kg, 1.710 kg

クランク軸 33.160 kg

であった⁸⁾。

それらの製造は膨大なバリや切粉の発生を伴う労働集約的の工程であったと思われる。因みに主要部位別に素材、素材重量、成品重量（kg）、材料歩留り（%）を一覧したデータを引けば、当発動機に重量比 53.05% を占めた鋼材に関して表示すれば：

表 3-5 三菱イスパノ 300 馬力発動機の鋼材歩留り

部材（鋼種）	素材重量 kg	成品重量 kg (%)
ボルト・ナット・ワッシャ等（発動機鋼第三号）	104.09	16.551 (15.9%)
気筒・始動栓・ハブ等（発動機鋼第四号）	410.09	41.669 (10.17%)
連桿・クランク軸・等（発動機鋼第九号）	232.89	48.577 (20.07%)
歯車・ピストンピン等（発動機鋼第十二号等 [推定]）	25.69	5.851 (22.77%)
カム軸（発動機鋼第一号）	42.01	4.916 (11.71%)
縦軸歯車等（材料不明）	17.21	3.010 (17.48%)
吸気弁・逆止弁（発動機鋼第八号）	11.39	1.943 (17.0%)
排気弁（発動機鋼第十四号）	9.43	1.820 (19.3%)
線材、鋼管、鋼板を含め鋼材全体	872.138	135.6301 (15.5%)

陸軍航空本部技術部『航空発動機ノ現況ノ概要並将来ノ豫想』附表第五、より。

といった具合で、概ね 10 ~ 20% という材料歩留りであった。無論、製品歩留まりまで考慮に入れば凄まじい数値となったであろう。

また、同じ「附表第五」には鋳鉄に関して：

ピストンリング用 素材 16.100 kg 成品 1.768 kg (10.9%)

それ以外 素材 15.810 kg 成品 2.345 kg (14.8%)

とあり、Al 合金に関しては：

ピストン 素材 27.600 kg 成品 12.400 kg (44.9%)

クランク室・水套等 素材 178.190 kg 成品 96.133 kg (54.0%)

8) 陸軍航空本部技術部『航空発動機ノ現況ノ概要並将来ノ豫想』附表第一（其ノ二）より。

といった数字も掲げられている。軽合金鑄造品、とりわけ大物部品の材料歩留りはややマシな数値であるが、何であれ“返り材”を再利用しないという航空機部品製造業の鉄則が当時から厳存していたとすれば、実用上問題無い程度の巣が見出されたクランク室等大物鑄造品を手直しせず廃却した慣行のみならず、湯口や押湯、バリ、余肉、切粉の形で実に膨大な材料が廃却ないし浪費されていたことになる。

将に“力づく”ないし“為せば成る”的な作業工程……深尾淳二によって「工作は大正初期のただ丁寧の範囲を一步も出ない」（『往事茫々』第一巻、263頁）と酷評された1933年当時の三菱名古屋における生産技術体系の一端がここからも偲ばれる。

1929年の9月29日から10月15日にかけて実施された海軍の「大正拾三年度機関学生秋季工場実習」で名古屋、大阪、神戸の官民13事業所を見学し実習を行った高橋大尉なる人物が残した『工場実習報告』、第八、九日の項は「三菱内燃機工場」とあり、当時の生産技術や発動機運用の実態を幾らかでも伝える貴重な資料となっている⁹⁾。

実習の目的は「イ」式発動機の取扱及製作であったが、実習生はあくまでも運用の側に立つスタッフであったから、機械加工等メーカー固有の製造技術に係わるテーマは研修の課程に盛り込まれていなかったようであり、かつ、そこには発動機に関係の無いテーマも含まれていた。それにしても、当時、三菱内燃機名古屋製作所では「イ」式300馬力が110台、同220及び200馬力が20～30台仕掛かっていたという状況であったから、高橋大尉の報告書は三菱イソパノ発動機全盛期のレポートと言って良い。そこで、以下暫く、読取り難い、あるいは意味不明の箇所が有るとはいうものの、公式の解説書の類には記されていないような技術情報が数多く見出される高橋の手書き資料の翻刻引用を試みたい。

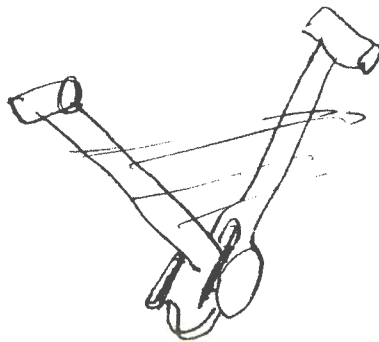
先ず第八日。

I. 「イ」式300HP. ニ就テ

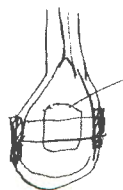
1. Cylinder ヲ Water jacket ニ螺シ込ムニハ Enamel ニモビールヲ混シタルモノヲ塗りテネシ込ム
2. Cylinder ト jacket ノ間アリ油漏リテ止ラサル時ハ plug ノ接手ノ処ノ軟鋼ノワッシャヲ拡ゲルカ又ハ取り換フルヘシ（隊等ニテ実施スルハ困難ナリ）（漏ツテモ Engine ノ機能ニ大シタ害ナシ）

9) 『飛行第一大隊兵器委員業務分擔表』なる資料と突合わせてみると、勿論断定は出来ないが、この高橋大尉とは1924年10月29日付で航空大隊→航空第一大隊の後身たる飛行第一大隊材料廠の材料掛（物品会計官吏）を拝命した高橋常四郎輜重兵大尉（後、中佐）を指すように想われる。同表に拠れば材料掛の職務は文書起案・帳簿整備、兵器材料購買、同受領検査、物品出納・廃棄処分、器材運輸、物資調査・統計、物品会計等であったが、高橋自身は発動機工術、飛行機用塗料、偵察機の開発計画についてかなり立入った資料を残している。

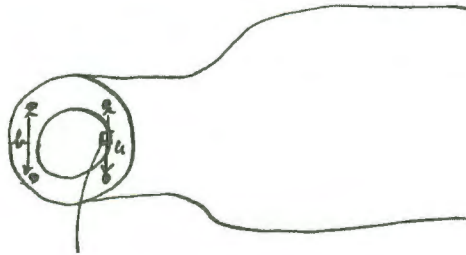
3. Piston pin ハ両方共浮イテ居ルカ故ニ油ハ此部ニヨク廻ラネハナラナイ
 コ、ガガタガタスル時ハ緊塞環ノ内面ニ傷ヲ生シ緊塞環ハ廻ラナイ事アリ交換ヲ要ス
4. 連接桿ノ white metal ハ良ク割レル事アリ、「イスパノ」ノ故障ハ此部ニ最も多シ
 連接桿ノ white metal ハ鉄ニ直接鑄込ム時ハツキニクシ。故ニ間ニハンダヲ入レテ鑄込ム
 Connecting rod ヲ crank ニシメツケルニハ此 Engine ハ非常ニカタシ（之油ノ消比量ヲ減
 スル爲ナリ。消比量 9 gr/HP .h. 油圧 10 kg）
 Pin ノ Dia ト connecting rod 頭ノ Dia ノ差ハ $\frac{1}{100}$ mm ナレ共 $\frac{2}{100}$ 又ハ $\frac{3}{100}$ 弛クスルモ支障
 ナシ。カクスル時ハ消比量少シ増ス。又油圧ハ低クトモ可ナリ。
 始メノ新シイ時ハ $\frac{1}{100}$ 位ニシテオクモスグ $\frac{2}{100}$ 又ハ $\frac{3}{100}$ トナル。
 潤滑ノ法ハ油圧ヲ少クシテ少イ油量ヲ多ク速ク巡環セシムルヲ理想トス。
5. 運転後 white metal ノ内周ニ堅ノ條ノ生スル事アリ之ハ Engine ノ爲ニ支障ナシ
6. 弁ハ吸入。排气ヲ見分ケル特別ナル法方ナシ
7. Engine ハ悪クナルト各歯車ノ嚙合ハ非常ニ悪クナル。之ハ故障ノ原因トナル
8. 「ゼニス」気化器ノ缺点ハ補助 nozle セク主 nozle ヲ変ル時ハ passage ハ非常ニ長シ。其
 間 真空ヲ生スルタメニパラパラト云フ音ヲ發ス。クローゼルノ方ハ此点ハ非常ニ良ク出
 来テオル
 ゼニス揮発器ノ高空弁ハ非常ニキ、難シ（当会社ニテ3ヶ月間実験セル結果ニヨレハ）
 カカル点ヨリ論スル時ハ「クローゼル」ノ方ハ良好ナルカ如シ
9. 「イスパノ」の如キ connecting rod ノ外外ヲダク法ハ pressure ノタメ下ノ方ハ膨張スル
 傾キアリ



カクノ如ク内側ヲ上ノ方ノ rod ハダク法ハ理屈上良好ナリ。



10. Connecting rod ノ pin ハ gasoline ニテ洗フハ【ウ?】 スク castol ヲツケテサシ込マネハ 焼付ク事アリ
11. Connecting rod ノ inside rod ト outside rod トノ巾ノ差 $\frac{9}{1000}$
inside rod ト crank arm トノ差 $\frac{16}{1000}$
12. inside rod ノ 割 pin ハ outside rod ヲ取り付ケテヨリ挿入セバ傷損スル事ナシ (outside ノ white metal ヲ傷ケル事アリ, outside rod ヲ取り付ケサル前ニサセバ, 作業稍困難ナルモ)
13. 油孔ヲ crank case ノ方向ニ向ケル如ク油ポンプヲ接合スヘシ.



$a < b + 7$ (2 mm ノ差アリ, 故ニ反対ニ接合スルモ接合スル事ヲ得ス)

14. plane bearing ノ white metal ヲ流シ込ミタルアトニ小サキ^ヲ洲ヲ生シタル時ハ之ニ油入り込ミテコレヨリ割ヲ生ス

続いて第九日。

I. White metal ノ 鑄込

1. 30 ~ 40 分石炭湯ニ浸シテ油氣ヲ脱リテ稀塩酸ニテ拭イ成ルヘク早く熱湯ノ中ニ入れテ塩酸氣ヲトリ之ニ「アイアンソーダ」(稀塩酸ノ如キモノ) ヲヌリ溶解セル錫ノ中へ入れ(カクスレハ錫ハ附着ス) 刷毛ニテ平等ニヌル. 之ヲ型ニ入れ炉ノ中ニ入ル
炉ノ温度ハ初メハ 100°C 位ヨリ 280°C 迄トス (約 50 分間炉中ニオク)
次ニ whoyt metal (white metal ノ如キモノ, white metal ヲ使用スル事モアレ共 目下 whoyt ヲ使用シアリ) ヲ 380°C ニ溶解シ炉ヨリ出セル型ニ鑄込メハ約八分ニテ固着ス
炉ノ温度ト whoyt 湯ノ温度トノ差約 100°C (錫ハ溶ケル程度) トス.
metal ノ厚サハ 1.25 mm ノ取り代ヲ附シ出来上リ 1 mm トス (connecting rod 頭, main bearing 共)
2. main bearing 等ノ如ク砲金ニ whoyt metal ヲ鑄込ムニハ錫ノ代リニ「ハンダ」ヲ塗布ス(錫ハ砲金ニツキ難キ爲ナリ)
3. 錫又ハ「ハンダ」ヲ附着セサル部分(即 whoyt ヲ鑄込マサル部分) ニハ粘土ヲ塗り置ク.
4. 「イ」式 300 一台ニ whoyt metal 13 kgr. ヲ要ス (1 kgr. 約 3 円ナリ)

II. 鑄造

「イ」式 300HP. ニ於テ鑄造ヲ行フハ water jacket, piston, 水ポンプ, magneto 台等トス皆「アルミニウム」鑄物トス.

Cu 7%, Zn 2%, 0.5 alloy トス.

Cu ハ AlCu (Al 50%, Cu 50% ニシテ銀白色ヲ呈ス) ヲ用ユ.

Piston ニ少量ノ Ni を配合ス.

当所使用ノ青銅ハ Sn 11-13% Zn 2%

燐青銅ハ燐ヲ配合シ硬度ヲ増ス

強度

Piston 14 kg 以上

其他 16 kg 以上

青銅 22 kg 以上

water jacket ノ鑄型ハ砂ヲ亜麻仁油ニテ固メテ型ヲ作り之ヲ乾燥炉ニ 2-3 時間入レ置ク

water jacket ヲ作ルニハ材料 50 kg ヲ溶カス (出来上リシモノハ 20 kgr.)

III. 当所製造ノ飛行キ.

海軍用

戦闘機, 偵察機, 練習機, 攻撃機八種トス. (以上ヲ現今迄ニ 22 回改造セリ)

戦闘機 兵装 mg 2

偵察機 前部 mg 2 后部 1「イ」式 300HP 使用.

攻撃機 兵装. 魚雷 1

(上昇能力戦闘機ヨリ可) 240 kg 爆弾 2 (魚雷ヲ附セサルトキ)

戦闘機—艦上發着用ニシテ前方視界ヲヨクスル爲「イ」式 300HP. ノ器化キヲ側方ニ下ケ中央ヲ clear トス.

IV. 「ランブラン」 Radiator.

1. 当会社ハ佛国ヨリ之カ製造権ヲ買収セリ.

型, A, B, C, D, E, F. ノ六種類トス. 各 cooling face ヲ異ニス A—5.8, F—12.8^{1/2} トス

2. 特徴

何レノ位置ニモ置ク事ヲウ.

日本ノ如キ寒暑ノ差甚シキ処ニハ夏ハ大ナルモノヲ冬ニ小ナルモノヲ附スル事ヲ得.

3. 缺点

out side tube ノ漏ル時ハ修理容易ナルモ inside tube ノ漏ル時ハ outside ヲ離シタル後ニ行ハサルヘカラサル不便アリ (上ノ方ナル時ハハナサナクトモハンダ付スル事ヲウ)

使用ハンダハ melting point 低キタメ漏ル時ニ普通ノハンダヲ使用スル時ハ前ノハンダヲトカシテ一層漏ヲ大クスル事アリ注意スヘシ。

inside tube ノ修理ヲ容易ニスルタメ目下之ヲニツニ割ル事ヲ得ル如ク考案中ナリ。

4. 大サ.

A ノ 出入り口径 $1\frac{1}{8}$ inch

B, C. $1\frac{1}{4}$

D, E, F 1.5 inch

tube ノ数

A	{	外	80 本
		内	30
B	{	外	92
		内	40
C	{	外	10
		内	40
D	{	外	120
		内	60
E	{	外	130
		内	70
F	{	外	140
		内	80

Capacity 目方

A 6.0 立 17 kg

B 6.7 20

C 7.0 24

D 8.0 29

E (当所ニ於テ製作セザレバ不明)

F 10 36

5. 構造

0.2 mm ノ銅板ヲ下図ノ如ク折合シ縁ヲ鋸着シ中央八個所ヲリベットシ、所々ヲ press ニテ圧シテ歪ヲ無クシ其間ヲ水ヲ通サシム。



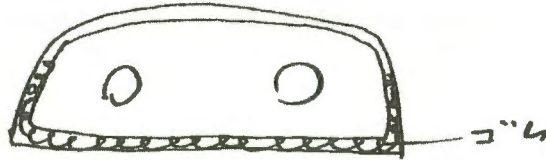
此附近ニシハ及ハンダ着ノ部分アリ モル事多シ

6. 試験

外管	8	} 封度ノ圧力ニテ試験ス (規定ハ5封度アレハ可ナリ)
内管	10	

V. 木工場.

- 海軍用 450HP. Napier Propeller 材 マホガニー
propeller ノ膠着
170°-190° ニテ約7時間 (水温)
膠ヲ着ケテヨリ7分デ press ス. 約3分間
海軍用 propeller ニ塗料ヲ塗ル前ニ漆ト米糊ニテ麻ヲ propeller ニ張りツク
- 「アンリオ」飛行機ノ木材ハ主トシテスプレーヲ使用ス. 効力檢ニ似タリ.
橋ニハ ash ヲ用ユ.
- アンリオ計器板ノ下部ニハ振動ヲ緩和スルタメノゴムヲ挿入ス



VI. 羽布ノ塗料ハ 60°C 湿度 50% ニテ塗布ス.

- 4 回塗ル. 第1回塗りテ次ニ塗ル迄ニ1時間 其次ヲヌルニ2時間ヲ要ス. 塗料ハ湿度ニ大ニ關係ス.

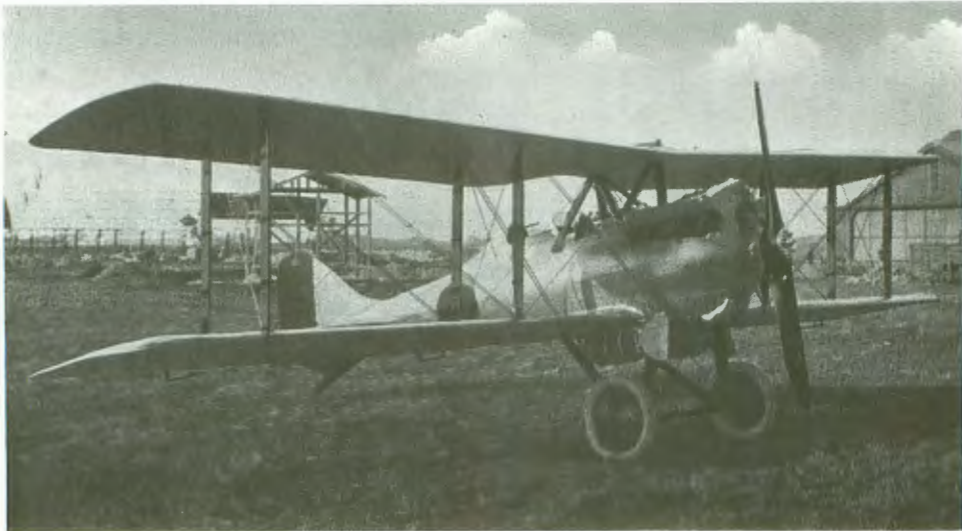
当工場ハ2分間毎ニ室内ノ空氣ハ變ル如ク計計【計画?】シアリ.

高橋大尉の三菱内燃機名古屋製作所での実習報告は以上で終わっている。機械加工や鍛造に係わる報告は皆無ではあったが、我々はそのからイスパノ発動機の製造や運用に係わる公式の書類からは窺い知れない技術的機微の一端を窺うことが出来たであろう。

三菱イスパノ 300 馬力型発動機はかような息遣いをしていた生産現場から総計 709 基生み出され、本家同様、競速機上りのニューポール戦闘機 = 陸軍甲式 4 型戦闘機等に搭載された。陸軍甲式 4 型戦闘機は 1923 年に輸入・試験の後、制式化され、中島飛行機で国産化された 608 機を含め、総計実に 764 機が使用された。中島の戦闘機に三菱発動機が搭載された例はこの前後を通じて非常に珍しく、かかる意味においても 300 馬力型は三菱イスパノ発動機にとって最も良き時代を画したモデルであった。

但し、三菱イスパノ 300 馬力発動機が本オリジナル図面通りの設計で“量産”されたのか否かについては断言を避けたい。220 馬力型の所でも示唆しておいたように、件の中空円筒連桿が三菱イスパノ 300 馬力型発動機の全てに例外なしに用いられていたのか否かについては幾ら

図3-14 ニューポール 29C1=陸軍甲式4型戦闘機



二式重九型噴気機 発動機(イスパノスイザー)三百馬力

当時の絵葉書。キャプションには不鮮明ながら「二式重九型戦闘機」とあり、当初、そのように呼称されていた事実が窺われる。但し、この「二式」は「二式戦闘機“鐘馗”」等に謂う「二式」ではなく、ニューポールの“二式”であったと想われる。ランブラン水冷却器の装備状況が良く分る。

か疑問の余地があると筆者は推理したい。

さて、材料や生産技術に触れた行きがかり上、この辺りで当時の我国における航空材料規格の一端について紹介しておかぬわけには行かない。我国における航空材料規格は1921年、航空研究所設立と同時に文部省内に設けられた航空評議会の材料規格を端緒とする。当然、それは先進国の航空規格を引き写したような内容とならざるを得なかった。また、それは成分別に体系化されてはいたが、用途別には整理されていなかったから使用者にとっては不便な規格ではあった¹⁰⁾。

航空評議会は陸海軍の仲立ちをも果したから、陸海軍の材料規格も概ねこれに準じて作成された。同じようなものを扱うのであるから似通った材料規格となるのが当たり前である。しかし、その後の技術進歩やセクショナリズムが作用した結果、陸海軍は内容的にはほぼ同一ながら若干の差異を含み、かつ、それぞれ別の呼称体系を有する夫々の、勿論、用途別に整理された航空材料規格を策定した。

1930年2月時点における陸軍の航空材料規格から発動機鋼のデータを拾ったものが次表である。「備考1.」に発動機鋼は砲身・装甲板・巨大回転軸等の材料として重用された酸性平炉鋼などではなく「坩堝鋼又ハ電気炉鋼ナルコト」と定められている。この点は当時の生産技術

10) 航空評議会材料規格については『日本航空学術史(1910-1945)』436～453頁に収録されている。

表 3-6 1930 年 2 月時点における陸軍の発動機鋼規格

項目別	主要成分										全質徴数				用途	備考					
	炭素	マンガン	シリコン	クロム	ニッケル	珪素	硫黄	燐	熱処理	硬度	引張強さ	引張伸び	衝撃強さ	熱処理							
第一種	0.05								100	25	25	34	22	温度約 900°C 冷却大氣中	100	25	25	34	22	鋼	1. 發動機鋼ハ用鋼類製又ハ電氣煉製鋼ロット
第二種	0.15								130			40	24	温度約 850°C 冷却大氣中	130			40	24	鋼	2. 抗張試験片ハ甲種又ハ乙種ヲ用フ
第三種	0.25								140	9	20	45	30	温度約 800°C 冷却大氣中	140	9	20	45	30	鋼	第十三號鋼ハ焼入後(温度ハ二一〇〜二五〇度ニシテ)焼戻シ(温度ハ二五〇〜三〇〇度ニシテ)行フ
第四種	0.40								160	4	16	55	32	全上	160	4	16	55	32	鋼	
第五種	0.60								190		10	65	38	全上	190		10	65	38	鋼	
第六種	0.70						0.030	0.030	220			80		温度約 800°C 冷却緩冷	220			80		鋼	
第七種	0.120				200				150	23	18	55	35	温度約 850°C 冷却油中	150	23	18	55	35	鋼	
第八種	0.20				400				330	7	8	110	90	全上	330	7	8	110	90	鋼	
第九種	0.40				0.50	250	0.20		250	12	12	80	70	全上	250	12	12	80	70	鋼	
第十種	0.30				200	0.30	400	全上	250	8	12	100	80	温度 850°C-900°C 冷却大氣中	250	8	12	100	80	鋼	
第十一種	0.45				400	180	180		400	25	7	155	140	温度約 950°C 冷却油中	400	25	7	155	140	鋼	
第十二種	0.55				500	220	220		270	12	12	90	75	温度約 800°C-840°C 冷却油中	270	12	12	90	75	鋼	
第十三種	0.40				100	400			270			90	75	温度約 800°C-840°C 冷却油中	270			90	75	鋼	
第十四種	0.80				0.20	120			400	15		70	40	温度 800°C-820°C 冷却緩冷	400	15		70	40	鋼	
第十五種	0.80				120				250		12	85	60	温度約 950°C 冷却大氣中	250		12	85	60	鋼	
第十六種	0.80				1200	300			250			85	60	温度約 950°C 冷却大氣中	250			85	60	鋼	
第十七種	0.15				1200	100			6	15		70	45	温度 850°C-950°C 冷却油中	6	15		70	45	鋼	
第十八種	0.40				1500	300						85	45	温度 650°C-750°C				85	45	鋼	

陸軍航空本部技術部「航空発動機ノ現況ノ概要並將來ノ豫想」1930年2月7日、附表第九。
 「全質徴数」中の「弾性界」は「弾性限(度)」と同じであるが、そもそも航空評議会材料規格においてはこれではなく、降伏点がいちいち使われていた。弾性限は材料の特性を表す指標としては不適当である。この点については拙稿「クラック車軸の技術史」『経済学雑誌』第111巻第1号、2010年6月、25頁ないし「C53型蒸気機関車試験(訂正版)：近代技術史における3気筒機関車の位置付けと国鉄史観、反国鉄史観」(大阪市立大学学術機関リポソトリに Discussion Paper として登録)の312〜312頁を参照されたい。

体系と夾雑物の排除という発動機鋼製造上の至上命題とを考え合せれば当然ながら、今となつては見過ごされ易いポイントと言えよう¹¹⁾。

航空評議会材料規格に謂う「イ 001～イ 511」の中から発動機鋼がカテゴライズされた上、呼称体系は「発動機鋼第一號……十五號」と呼称されている。使途が付記されているのは先程から強調して来た“遣う立場”ならではである。そこからどのような鋼材が三菱イスパノ 300 馬力発動機に用いられていたかについては先に一瞥した通りである。

海軍については同時代の資料を見出していないが、1936年11月6日時点の航空機材料規格は海軍工機学校『特修科工術練習生教程 工術練習生教程 工術参考書』昭和十一年六月、第三編 航空機材料、を参照し得た。鋼材は「い1～い29」に細分化されているが、こちらには機体等、一般部品材料も含まれている。

これら陸海軍の資料から三菱イスパノ 300 馬力についてのデータを拾い出してみれば次のようになる。

表 3-7 三菱イスパノ 300 馬力の使用材料

部位	陸軍		海軍	
クランク室	Al 合金	に 21	軽合金鋳物 No.3	
気筒	発動機鋼第四号	い 5	0.45 炭素鋼	
吸気弁	発動機鋼第八号	い 9	3.5Ni 鋼	
排気弁	発動機鋼第十四号	い 22	Ni-Cr-W 鋼	
弁案内	鑄鉄	—	坩堝鑄鉄	
クランク軸	発動機鋼第九号	い 13	94 珪 Ni-Cr 鋼	
主連桿	発動機鋼第九号	い 13	94 珪 Ni-Cr 鋼	
副連桿	発動機鋼第九号	い 12	86 珪 Ni-Cr 鋼	
ピストンピン	鋼種記載なし	い 13	94 珪 Ni-Cr 鋼	
ピストン	Al 合金	い 21*	—	
カム軸	発動機鋼第一号	い 2 / い 1	低 Ni 肌焼鋼 / 炭素肌焼鋼	
中間軸	鋼種記載なし	い 15	130 珪 Ni-Cr 鋼	
中間軸外管	鋼種記載なし	ろ 3	46 珪炭素鋼管	
プロペラボス・同抑金、ナット	発動機鋼第四号	い 5	0.45 炭素鋼	
プロペラボス取付ボルト	発動機鋼第九号 (ナットも)	い 13	94 珪 Ni-Cr 鋼	

*これはシルクローム鋼の記号であり、明らかに「に 21」の誤記。

この中から一番目立つクランク軸について注目してみれば、陸軍の発動機鋼第九号とは：

11) 戦前・戦時における鋼材の生産技術体系については陸軍兵器学校『昭和十八年度版 材料学教程』20～37頁、及び巻末の第四図～第二十三図、参照。

C: 0.30 ~ 0.40%, Mn: 0.20 ~ 0.30%, Si: 0.20 ~ 0.40%, Ni: 2.50 ~ 3.00%, Cr: 0.50 ~ 1.00%
 弾性界 $\geq 70 \text{ kg/mm}^2$ 抗張力 $\geq 80 \text{ kg/mm}^2$ 最小伸 12%
 最小衝撃値シャルピー 12 kg/mm^2 硬度 250 ~ 320
 850°C に加熱, 油焼入, 600 ~ 650°C に加熱後, 焼戻 (水中冷却可)

という内容であった。焼準, 焼鈍について記載が無いのは参照資料固有の省略で, 次に見る海軍の場合同様, ごく普通に処方されていたものと思われる。

海軍規格の「い13」94 珪 Ni-Cr 鋼は:

C: 0.32 ~ 0.40%, Mn: <0.60%, Si: <0.35%, Ni: 3.00 ~ 4.0%, Cr: 0.70 ~ 1.30%, P: <0.03%,
 S: <0.03%
 降伏点 78 kg/mm^2 抗張力 94 kg/mm^2 伸 15% 断面収縮率 40% 衝撃値 9 kg/mm^2
 硬度ブリネル 270 ~ 321
 820 ~ 870°C に加熱, 大気中又は炉中放冷で焼準・焼鈍, 820 ~ 880°C 油焼入, 約 600°C 焼戻 (油又は水中冷却)

であった。

同じ発動機の同じ部品の材料なのであるから, 概ね成分を同じくする材料が似たような処理を施され, ほぼ同様の特性値を附与されて使用に供されていたのは当然である。しかし, 陸海軍の材料規格はこのように微妙に異なった観点と表現内容を有しており, 夫々の屁理屈を謳歌する格好になっている。それにしても, 海軍の「<0.03%」などというのは実用上の検出限界を意味するだけだったのでなかろうか?

連桿の材料について補足的に拾っておくべきであろう。陸軍のそれと異なる海軍の副連桿材料「い12」86 珪 Ni-Cr 鋼は:

C: 0.25 ~ 0.32%, Mn: <0.60%, Si: <0.35%, Ni: 2.5 ~ 3.5%, Cr: 0.6 ~ 1.0%, P: <0.03%,
 S: <0.03%
 降伏点 70 kg/mm^2 抗張力 86 kg/mm^2 伸 18% 断面収縮率 50% 衝撃値 14 kg/mm^2
 硬度ブリネル 250 ~ 302
 825 ~ 870°C に加熱, 大気中又は炉中放冷で焼準・焼鈍, 820 ~ 870°C 油焼入,
 550 ~ 620°C 焼戻 (油又は水中冷却)

という内容であった。因みに, この鋼種でも高強度に仕上げられた材はクランク軸材料としても用いられていた。

海軍の主・副連桿材料違い分けについて付言すれば, この種の違い分け自体が殊更に例外的な手口であったというワケではない。しかし一方で陸軍はこれらに同一の材料を用いている。

本件については異時点データの比較でもあり、直ちにその評価を云々することは憚られるが、陸海軍の間に材料規格上の僅少な違いのみならず材料使用上の微妙な異同が存在した事実は以上のデータだけからも窺い知れるところである。現場の苦労はさぞやと偲ばれよう。同じような発動機を製造していながら陸軍向けと海軍向けとで工場ないしショップを別建てにするなどという現場編成が採られなければならなかったのは根本要因の一つとしてこの材料規格及び使用法に係わる問題が伏在していたからである。

我国では上述の航空評議会材料規格をベースとしつつ、陸軍、海軍、それに民間航空を所轄する逓信省がこのように「各々其の内容及形式の異つた規格を使用」していたから、あれやこれやの不都合が生じたのは当然である。これを解消するため日本航空材料規格または陸海軍航空材料規格と呼ばれるものが策定され、1938年には『陸海軍航空材料規格（加除式）』が発行された。しかし、それが末端まで行き渡るにはある程度の時日を要したようである¹²⁾。

陸海軍航空材料規格の中から主要鋼材の成分と熱処理及び機械的性質に係わる部分を取り出

表 3-8 陸海軍航空材料規格に定められた主要鋼材関係の成分

規格略號	種別名稱	成分 (%)							
		C	S _i	M _n	P	S	N _i	C _r	M _o
イ001	10 炭素鋼	<0.16	<0.35	<0.6	<0.035	<0.035	—	—	—
イ002	25 炭素鋼	0.3 ~0.3	♠	♠	♠	♠	—	—	—
イ003	35 炭素鋼	0.3 ~0.4	♠	♠	♠	♠	—	—	—
イ004	45 炭素鋼	0.4 ~0.5	♠	♠	♠	♠	—	—	—
イ005	55 炭素鋼	0.5 ~0.6	♠	♠	♠	♠	—	—	—
イ011	炭素鋼 磨棒 徑<20 20~32	0.2 ~0.3	♠	<0.9	♠	♠	—	—	—
		0.25 ~0.35	♠	♠	♠	♠	—	—	—
イ101	肌焼炭素鋼	<0.2	♠	<0.6	<0.3	√0.3	—	—	—
イ102	肌焼低ニッケル鋼	0.10 ~0.10	♠	♠	♠	♠	2.8 ~3.8	<0.5	—
イ103	肌焼高ニッケル鋼	0.10 ~0.15	♠	♠	♠	♠	4.0 ~5.0	<0.5	—
イ104	肌焼低ニッケルクロム鋼	0.10 ~0.18	♠	♠	♠	♠	3.0 ~4.0	0.8 ~1.1	—
イ105	肌焼高ニッケルクロム鋼	0.4 ~0.15	♠	♠	♠	♠	4.0 ~5.0	0.7 ~1.0	<0.5
イ111	窒化鋼	0.4 ~0.5	<0.5	♠	♠	♠	0.7 ~1.2	1.4 ~1.7	<0.5
イ201	80kg クロム鋼	0.25 ~0.5	<0.35	♠	♠	♠	—	1.5 ~2.0	—
イ202	75kg クロムモリブデン鋼	0.25 ~0.35	♠	♠	♠	♠	—	0.8 ~1.2	0.15 ~0.35
イ203	90kg 〃	0.27 ~0.37	♠	♠	♠	♠	—	1.0 ~1.5	0.3 ~0.6
イ204	85kg ニッケルクロム鋼	0.25 ~0.32	♠	♠	♠	♠	2.5 ~3.5	0.6 ~1.0	—
イ205	95kg 〃	0.32 ~0.40	♠	♠	♠	♠	3.0 ~4.0	0.7 ~1.3	—
イ206	100kg ニッケルクロムモリブデン鋼	0.2 ~0.3	♠	♠	♠	♠	3.0 ~4.0	1.0 ~1.5	0.3 ~0.6

規格略號	種別名稱	成分 (%)							
		C	S _i	M _n	P	S	N _i	C _r	M _o
イ207	110kg ニッケルクロムモリブデン鋼	0.25 ~0.35	<0.35	<0.6	<0.03	<0.03	2.5 ~3.5	2.5 ~3.5	0.5 ~0.7
イ208	125kg 〃 T 0.2 ~0.6	0.22 ~0.27	♠	♠	♠	♠	4.0 ~4.5	1.3 ~1.8	0.4 ~0.7
イ209	180kg 〃	0.4 ~0.5	♠	♠	♠	♠	1.5 ~5.0	0.6 ~1.8	0.15 ~0.35
イ210	160kg 〃	0.25 ~0.35	♠	♠	♠	♠	4.0 ~4.5	1.3 ~1.8	0.3 ~0.6
イ211	120kg ニッケルクロムタンクステン鋼	0.15 ~0.25	♠	♠	♠	♠	3.8 ~4.5	1.3 ~1.8	0.1 ~0.3
イ301	耐熱ニッケルクロムタンクステン鋼	0.35 ~0.45	1.5 ~2.5	♠	♠	♠	1.3 ~1.5	1.4 ~1.6	2.0 ^(B) ~3.0
イ302	珪素クロム鋼	0.3 ~0.45	2.0 ~3.0	♠	♠	♠	—	1.0 ~1.3	0.7 ~1.3
イ303	ニッケルマンガンクロム鋼	0.5 ~0.6	<0.5	4.5 ~5.5	♠	♠	1.15 ~1.30	3.0 ~4.0	—
イ401	13 クロム不銹鋼	<0.2	<0.6	<0.6	♠	♠	<1.0	1.15 ~1.4	—
イ402	クロムニッケル不銹鋼	♠	♠	♠	♠	♠	7~10	1.7 ~2.0	—
イ501	高炭素高クロム鋼	0.95 ~1.15	<0.35	♠	♠	♠	—	1.2 ~1.8	<0.5
イ502	高炭素低クロム鋼	0.9 ~1.1	♠	♠	♠	♠	—	0.6 ~0.7	—
イ511	クロムタンクステン鋼	0.5 ~0.65	0.8 ~1.0	<0.7	♠	♠	—	3.7 ~8.0	3.7 ^(C) ~8.0

海軍航空本部技師 和久田信忠編纂『航空工業ハンドブック』春陽堂書店、1940年（1939年7月脱稿）、550～551頁より。その他、鋼棒・鋼管・鋼板の寸法規格については568～569頁、参照。

12) 高瀬孝次『航空用金属材料』工業図書、1940年、8頁、参照。

なお、かように瑣末な規格上の問題を忌避したためか、同じ年に岩波書店から発売された日本航空学会編纂・発行『航空工学便覧』には航空材料規格に係わるホットな記述は皆無となっており、陸軍

表3-9 陸海軍航空材料規格に定められた棒鋼・鋼片・鍛鋼品の熱処理法と機械的性質

規格略号	種別名稱	熱 處 理				降伏點*	抗張力*	伸(%)	絞(%)	アイソッド ^Δ 衝撃値	ブリネル硬度	記 事
イ001	10 炭素鋼	(焼ならし) 880°-940°C	(焼 鈍) 約 880°C 中	(焼 入) —	(焼 戻) —	—	<40	>30	—	<120*	焼ならし状態	
イ002	25 炭素鋼	840°-900°C	約 840°C 中	—	—	>28	>45	>28	>50	>9	110-160	同 上
イ003 (い 4)	35 炭素鋼	830°-880°C	約 830°C 中	830°-880°C 水中(油中)	550°-650°C	>31(A)	>50	>24	>45	>6	120-170	焼ならし状態
イ004 (い 5)	45 炭素鋼	820°-870°C	約 820°C 中	820°-870°C 水中(油中)	550°-620°C	>40(B)	>55	>22	>55	>10	170-230	焼入焼戻状態
イ005	55 炭素鋼	800°-850°C	約 800°C 中	800°-850°C 水中(油中)	550°-620°C	>50	>70	>17	>45	>8	200-250	焼入焼戻状態
イ011	炭素鋼府祿					>60	>80	>14	>35	>6	230-280	同 上 (焼鈍 <200)
イ101	肌焼炭素鋼	(焼ならし) 870°-920°C	(焼 鈍) 約 870°C 中	(第一次焼入) 870°-920°C 油 中	(第二次焼入) 750°-800°C 水 中	徑 < 8	55-70	>13	>35	—	—	焼入焼戻状態
イ102	肌焼低ニッケル鋼	850°-900°C	約 850°C 中	850°-900°C 油 中	730°-800°C 水 中	>8	55-70	>15	>40	—	—	同 上
イ103	肌焼高ニッケル鋼		約 830°C 中	830°-880°C 油 中	750°-820°C 油 中	>32	>60	>21	>50	>12	—	同 上
イ104	肌焼低ニッケルクロム鋼	同上	同上	同上	770°-820°C 油 中	>60	>85	>15	>45	>9	—	同 上
イ105	肌焼高ニッケルクロム鋼	同上	同上	同上	750°-820°C 油 中	>70	>100	>15	>40	>8	—	同 上
イ111	窒 化 鋼		約 850°C 中	880°-930°C 油 中	約 700°C 油 中	>80	>100	>12	>40	>8	—	同 上
イ201	80kg クロム鋼	(焼ならし) 800°-850°C	(焼 鈍) 約 800°C 中	(焼 入) 800°-850°C 油 中	(焼 戻) 620°-700°C 急 冷	>70	>85	>15	>50	>10	241-293	焼入焼戻状態 / 硬度
イ202 (い 28)	75kg クロムモリブデン鋼	820°-870°C	約 820°C 中	820°-870°C 油(水)中	600°-650°C 急 冷	>65	>80	>15	>50	>10	241-293	同 上
イ203	90kg クロムモリブデン鋼	830°-880°C	約 830°C 中	830°-880°C 油(水)中	550°-630°C 急 冷	>75	>90	>15	>50	>9	262-321	同 上
イ204 (い 12)	85kg ニッケルクロム鋼	820°-880°C	約 820°C 中	820°-880°C 油 中	550°-620°C 急 冷	>70	>85	>18	>50	>12	248-302	同 上

同上書、556-557頁より。

弾性界ではなく降伏点がいられるようになっている点に注目。

して掲げておこう。

なお、この陸海軍航空材料規格は1943年に改訂されているが、そもそもこの規格が実効性を発揮し始めた頃にはその根拠をなす航空評議会材料規格そのものの出発点に係わる我国固有の問題が愈々顕在化するに及んでいた。即ち、Ni、Crを主体とし、Mo、V、Wを従とする先進国の特殊鋼材規格は豊富なNi資源の存在を前提として体系化されたものであったため、日本の国情に益々そぐわなくなって来ていたのである。かくて、官民一体で展開されるに至ったのが“代用鋼”の開発である。

それは旧「満洲」、「朝鮮」植民地に存在したMo資源の活用を図るNi節約代用鋼=Cr-Mn-Mo鋼の開発に始まり、MoをWに置換えるMo節約代用鋼、更にはW節約代用鋼等々へと展開せしめられて行った¹³⁾。

△航空技術研究所々員、技術院参技官の肩書を持つ技術者、高瀬自身も何故かこの“虎の児”とでも言うべき陸海軍航空材料規格の内容についてはそれが「最近実用されつゝある」と語るのみで、その詳細には立入っていない。

13) 『航空技術の全貌』(下)、370～389頁、参照。

勿論、その影響範囲は航空のみならず、一般工業規格であるJESの改訂=臨JES化にまで及んだ。

4. 三菱イスパノ 300 馬力発動機の整備と運用

軍用航空発動機であったが故に、300馬力型に限らず三菱イスパノ発動機の使用実績について体系的なデータを見出すことは困難である。以下では1926(大正15)年12月6日より1927(昭和2)年3月上旬まで、フランス系航空発動機、「イ」式三百馬力、「ローレン」四百五十馬力の取扱・故障探求・教育要領伝習のため陸軍がフランスより「イーブ、メチエー陸軍航空兵特務曹長」を招聘して実施した「発動機取扱法特別教育」の総括たる『発動機取扱法特別教育実施報告』(以下、『報告』)に依拠しつつ整備実態と整備を通じて浮び上るその使用実態の一端を窺ってみることにしよう。

発動機取扱法特別教育は12月6日から2月19日まで10週間、つまりその期間のほとんどを「イ」式三百馬力 関連に費やし、「ローレン」四百五十馬力 については2月21日から3月11日まで都合3週間取上げられたに過ぎない。従って「イ」式三百馬力 についての情報は相対的に豊富である。もっとも、当の「イ」式三百馬力 発動機はフランス本国においては些か旧態化の局面を迎えていたため、メチエー特務曹長は久方振りに同発動機に接したらしく、『報告』には前以って当該発動機に詳しい人物の選定を求めておくべきであったとの反省も記されている。

先ず、『報告』は整備一般心得について語り出す。そこでは、機関掛たるもの故障発生後、昼夜兼行で修理に当たっているようでは失格で、日頃より微細な兆候を観取し、故障発生を未然に防いでこそ優秀な機関掛たるべしと諭す。「ヨカロウ」、「是位イ」といった判定基準は機関掛にとっては禁則なのである(5~7頁)。

組立に先立つ摺合せ、なかんずくホーニングが実用化される以前における気筒とピストンリングとのそれは多大の時間と労力を要する工程であった。曰く、

摺合作業ヲ行フ時作業時間ヲ以テ摺合ノ可否ヲ云々スルモノアルハ適当ナラス摺合ノ良否ハ時間ニ関係ナキモノニシテ假令何時間、何日間摺合スルモ不良部ヲ除クコト能ハサル場合ニハ摺合作業ヲ実施スヘキコトヲ忘ルヘカラス(9頁)。

……

活塞環ノ摺合ハ特ニ発動機ノ性能ニ影響スルコト大ナリ是カ爲活塞環ノ摺合ハ最モ入念ニ作業スルヲ要シ多大ノ時間ト労力ヲ費スモノナリ(同)。

摺合せは砥粒を用いて実施された。終了後、その洗浄は細心の注意を以って行われねばならない。

摺合作業後ノ洗滌ハ最モ丁寧ニ行ハルルヲ要ス一切摺合ニ使用シタル「カーボラダム」

ゝのであって、節約圧力は当然ながら一般工業界の方に強く作用したJESの構造用鋼材規格、各種代用鋼規格については生産技術協会『実用工学便覧』1951年、261~299頁、参照。

等ヲ残留セサルコトニハ注意スルヲ要ス然ラサレバ發動機運転中残留セル「カーボランダム」ノ爲ニ其摺合ヲ不良ナラシムルコトアリ (9頁)。

続いて組立となる。部品は油を塗布してから組立てられた。

組立ノ時ニ使用スル油ハ「モビール」油ヲ可トス又其濃度ニ就テハ特ニ注意ヲ要ス濃度大ナルモノヲ使用スルトキハ結合ノ際部品ノ間隙内ニ多量ニ油ヲ残留セシメ螺桿ヲ緊定スルト雖モ運轉後油ハ濃度ヲ減シテ流出セラレ螺桿緊度ヲ減少セシムルモノナリ又同様ニ多量ノ油ヲ含マシムルコトモ慎マサルヘカラス

右ノ注意ハ冬期ニ於テ特ニ注意ヲ要ス 要スレハ加熱シテ適當ノ濃度トシテ使用スヘシ (10, 20頁)。

粘度を濃度と呼んでいる点を除けばこれなどは現代でも通用する作業指針である。なお、潤滑油として当時未だ現役であったカストル油(ひまし油)は錆の元になるので発動機の運転終了時には「モビール」油を用いた運転に暫時切替える必要があった。高橋大尉のレポートとは裏腹に組立に際しても同じ理由から「カストル」油の使用は厳禁された(20頁)¹⁴⁾。

組立にはガスケット(硬質パッキング)、パッキング(軟質ガスケット)の類が付き物である。これについては：

緊塞具(パッキング)ニ使用スル材料次ノ如クナルヘシ	
滑油系統	トリノコ紙(煮亜麻仁油塗布)
揮発油系統	ファイバー
混合瓦斯系統	スーパーヒート
壓力ヲ受クル部分	金 屬

とある(11, 20頁)。この他には後述の通り液体パッキングも使用された。

組立にはまた、ボルトの緊締が、分解には軽打撃とボルトの弛緩とが付き物である。これに用いられる工具について、「鐵槌ハ發動機工術ノ敵ト心得ヘシ」(8頁)、「自在螺輪ハ鉄槌ト共ニ工手ノ二大敵ナリ」(10~11頁)と述べられており、それぞれ「佛国ニ於テハ發動機工場ヨリ殆ト其姿ヲ没スルニ至レリ」(8頁)、「佛国ニ於テハ現今自在螺輪ハ各發動機工場ヨリ全ク其影ヲ認ムルコト能ハサル程其使用ヲ避クルコトニ努メツ、アリ」(11頁)などと念押しされている。勿論、これは鉄製ハンマとモンキーレンチに係わるハナシである。

分解・点検・修理の個別項目について見れば、先ず主軸受に関しては：

曲軸軸承ハ曲軸室ノ相当部分ニ充分適合シ且必要ナル緊度ヲ保ツヘキモノナリ時トシテニ力ニテ容易ニ離脱シ得ルモノアルハ適當ナラス如キモノハ是ヲ製作工場ニ送り加修スルヲ可トス (13頁)。

14) こんな厄介な油が用いられた理由については前掲拙稿「回転気筒空冷星型航空発動機の盛衰(下)」『LEMA』, No. 480, 2005年, 注80, 参照。

とある。

平軸受においてメタルとメタル嵌合部との密着が不良である場合、熱伝導が断ち切れ、メタルの過熱溶損が惹き起される。このため、両者の密着確保は重要事項となる。引用は裏金付薄肉メタルにクラッシュハイトを与え、シムで微調整するような手法が実用化される遥か以前の整備心得である。「製作工場」では高橋大尉がレポートしたような方法でメタルの盛り替えと成形が行われていたワケである。

クランクピン軸受については：

連接桿頭部ノ「メタル」磨滅セルモノハ交換スルヲ要ス其接合面ヲ鑢削シテ修正スルハ適当ト認メ難ク鑄替ヲ行フヲ要ス佛國ニ於テハ「メタル」鑄替作業ハ各隊材料廠ニ於テ行フヲ禁シ必ス工場ニテ實実施スルコトヲ規定セリ (13頁)。

とあり、ここでも直ぐに製作工場送りが指示されている。

組立てる前には部品の寸法精度が問題となる。クランク軸の真直度については定盤上にて測定され、プロペラハブ取付部先端において0.05 mmの振れが許容限度とされていた(同)。気筒直径の直角方向誤差の許容値は0.05 mmであった(同)。

弁案内の孔径の許容値は吸気弁側で16.54 φ、排気弁側では16.55 φと定められていた。製造時点において前者は16.49 ~ 16.51 φ、後者は16.52 ~ 16.54 φの範囲内に収まるように造られていた(14頁)。

弁に関しては吸排気弁の混用(取り違え)がまま有ったという事実である。両者はその使用環境に応じて材質を異にしていた。然るに「往々ニシテ是ヲ誤リ吸気弁ヲ排気弁ニ使用シテ其過熱ノ爲ニ弁ヲ変形セシメ或ハ溶解セシメタルモノ少カラス」(20頁)、とある。これは先に引いた高橋大尉の『工場實習報告』における記述とも符合する事態であるが、驚くべき醜態ではある。

もっとも、『報告』に拠れば、「イ」式三百馬力の吸気弁々棒は弁頭直前のくびれ部の手前まで16.38 φの全き円筒をなしたが、排気弁のそれは端部で16.392 φ、くびれ部の手前にかけて16.25 φというごく緩やかな円錐面をなしていた。両者を慎重に目視比較すれば区別は可能ではあった。しかし、これでは確かに判り難くはある。実際、この程度では手ぬるいと判断されたようで、後刻、吸気弁には頭部にA、排気弁には同じくEの刻印が打たれ、かつ、材料表示として吸気弁にはT × × × ×、排気弁にはA.T.Vなる符号が付されるようになったらしい。但し、これでも十分親切とまでは言えまい(20~21頁)。

補機関係では油ポンプの軸と弁との隙間のみが0.05 mmまで、と定められていた(14頁)。

続いて『報告』の記述は修理と組立の手管に及ぶ。スタッドボルトの根元が弛んだ場合、ボルト穴に真鍮ネジをねじ込み、これに改めて雌ネジを切ってスタッドを植え直す方法と、ボルト穴にいきなりオーバーサイズのネジを立て、これに新たなスタッドを植え直す方法との何れかが採用された。前者においては新たにタッピングする際の芯出しに困難が伴うため注意が必要とされた。もっとも、これなど、ヘリサートが無くては管材に雄ネジを切ったモノを予め用

意しておけば簡単に解決し得た筈の困難ではある(15頁)。

ピストンピンの嵌合は手で軽く押込める程度を標準としたが、現実には締め嵌めとなっている個体が存在した。その場合はピストンを60～80°Cに加熱した「モビール」油中にて暖めてから専用工具、プレス、万力等を用いて手早く圧入するよう指示された。連桿小端部へのブッシュ圧入も同様に油中加熱の後、行うよう指示された(15、22頁)。

気筒とピストン・リングとの摺合せは気筒を寝かせて行う方が安全とされた。手作業ゆえに、縦位置で行うとピストンを引上げる際にリングまで引き出して損壊させてしまう場合がまま有ったためである。

摺合せの具体的作業手順は、寸度測定済みの気筒を用意し、その内径に適合した摺合せ用ピストンとピストンリングを選択する。リングは嵌込んだ状態で合口隙間ゼロのものを理想とするが、通常は合口隙間0.5～0.8mmの古リング、摺合せ用古ピストンを用い、研磨剤にはカーボランダムを用いる。これが第1段の摺合せである。

第2段では第1段同様の道具立てでカーボランダムを充分洗浄した後、「モビール」油を用いて摺合せを行う。

第3段では実機で気筒とペアをなすピストン、ピストンリングを用い、「石油」にて摺合せを行う(16～17頁)。

主軸受の過熱や塵埃噛み込みにより平滑性を失ったクランクジャーナルの表面研磨は幅20～25mm、適当な長さに裁断の上、両端に取っ手が付けられたベルト等を図のように1回ジャーナルに巻きつけ、2名の作業者が交互に引き合う原始的作業として実施された。原始的とは言え、かような手口は今でも何処かの片隅に生残っているであろう。

研磨剤としては先ずカーボランダムの細粒、次に砥の粉を混ぜた潤滑油、最後に気筒摺合せと同様、「石油」が用いられた。油孔に侵入した研磨剤(カーボランダム、砥の粉、石油)は組み

図4-1 クランクジャーナルの研磨作業

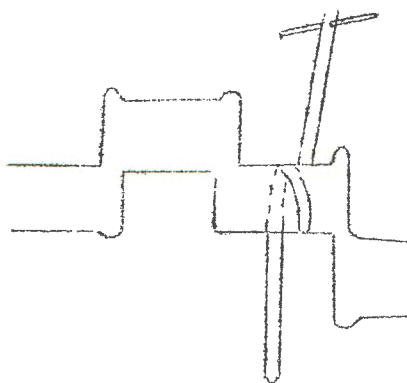
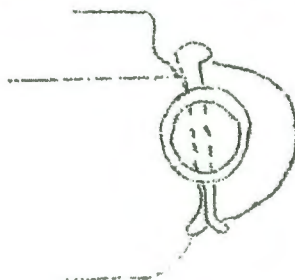


図4-2 桿部側の割ピン溝を修正し、割ピンを通してある情況



【報告】22頁、より。

オリジナルのピン溝は勿論、クランクピンと平行に切られている。

立て前に充分、加圧洗浄除去されねばならなかったことは言うまでも無い(18頁)。

主軸受、クランクピン軸受の摺合せは軸受側に光明丹を塗り、摺合せ不良箇所=当りの不均等名箇所の凸部を削鏡^{スクレーパ}で僅かに削ることで修正された。「此作業ハ最モ熟練ヲ要スルモノニシテ特ニ優秀ナル作業手ニヨリ行ハレ尚最後ニ削鏡ニ圓味ヲ持タシタル鏡ヲ以テ其表面ヲ十分ニ研磨シ要スレハ砥ノ粉ヲ以テ研磨ス」(18~19頁)、とある。

組立にも経験知が活かされた。即ち、連桿の軸受冠は前節で見たように桿部とボルトで結合される。ブレード(内)側連桿のようにボルトのみでこれを結合し、桿部側の溝とボルト先端の孔とを合致させた上で割ピンを通す構造が採られる場合、交換に際して溝と孔に食違いを生じた時には必ず溝の方を修正してピンを挿入する。決して無理にボルトを締め増してはならない(21~22頁)。もっとも、高橋大尉のレポートのようにブレード(内)側の割ピンはフォーク(外)側連桿のキャップ取付後に挿入すべしという指示は見当たらない。

ピストンリングの合口は従前、互いに90°ずつ隔てるようになされていたが、「多年ノ経験ニヨリ」この方法では運転中リングが回って合口が接近し、機密性が損なわれ易いと判明した

表4-1 イスパノ300馬力発動機の弁開閉時期とその公差

区分		基準角度	公差	
吸気	始	10°	-2°	上死点後
			+3°30'	
	終	50°	-2°	下死点後
			+4°48'	
排気	始	45°	-3°48'	下死点前
			+2°	
	終	10°	+4°	上死点後
弁隙間		3 mm	±0.5 mm	

【報告】24頁、より。

ため、互いに側圧・反側圧方向に 180° ずらして割り振りつつ嵌込む手法に変更され「良結果ヲ得ツツアリ」と報告されている(23～24頁)。

上下クランク室の接合面には液体パッキンに当る「ヘルメチック」が塗布された(24頁)。

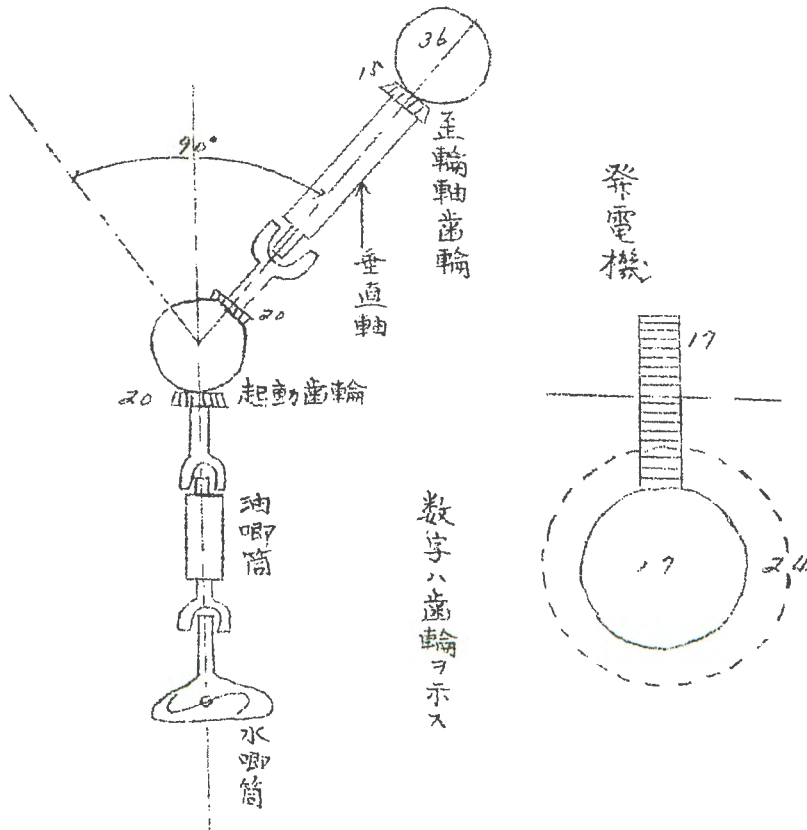
イスパノ発動機の整備に際して最も厄介であったのは弁開閉時期の調整である。イスパノ300馬力発動機の弁開閉時期については上述の通りであるが、公差(許容誤差)を含め、改めてその調整基準を掲げれば次のようななっていた。

タイミングギヤ
調時歯車の合せマークを合致させればOK、という普通の自動車用機関のような具合に行かず、公差などというウルサイことを云々せねばならぬのはそれだけギヤトレインが複雑で大きな誤差が出る性質のものであったからである。

イスパノ300馬力発動機の動弁機構・補機駆動機構の要部は図のような構成であった。

但し、上表の数値は公差を含め、あくまでも基準であって、実測に拠れば調子の良い発動機

図4-3 イスパノ300馬力発動機の動弁機構・補機駆動機構要部



『報告』25頁、より。

クランク軸後端に取付けられた“起動歯輪”の歯数は右図破線部の通り24である。

においても上記標準値からの誤差は弁隙間で0.02 mm, 弁開閉時期で2°あり, これが普通のコンディションの発動機になると同0.03 mm, 3°といった程度にまで拡大していた。誤差のパラッキはそれぞれ0.02~0.1 mm, 2~10°の範囲にまで及んでいた(25頁)。

その結果を総括すれば,

吸気弁啓開: $\leq 10^\circ$ ATDC

吸気弁閉塞: $\leq 50^\circ$ ABDC

排気弁啓開: $\leq 45^\circ$ BBDC

排気弁閉塞: $\geq 10^\circ$ ATDC

といったところで, この範囲にあれば発動機の調整状態として可とされた(25頁)。

この辺りの数値を確保するための微調整には“垂直軸”歯車及びカム軸歯車の位相合せと弁隙間調整とが総動員された。即ち, “垂直軸”連動部の噛合い継手を180°反転させることによる上端歯車(T=15)位相の $\frac{1}{2}$ 歯進退(反転させれば $7\frac{1}{2}$ 回転するので), カム軸歯車(T=36)固定キー(キー溝5箇所)の打換えに因る歯車位相の $\frac{1}{5}$ 歯進退(キー位置1つにつき $7\frac{1}{5}$ 歯動くので), 弁隙間の調整(↑:遅開き・早閉じ, ↓:早開き・遅閉じ)の組合せによって果された。

その個別ステップの紹介は煩瑣を極めるのでここではなし得ないが, 要するに先ずクランク軸にクランク角指示円盤^{インジケータ}を取付け, 代表気筒を選び, その上死点を出し, 歯車系の微調整を行う。次に各気筒毎に上死点を求め, そこからクランク軸^{インテンダ}を寸動させて実際の弁の動きを確認し, 最終的に弁隙間調整によって最適値に近付けて行くワケである。この際, イスパノ300馬力発

表4-2 イスパノ220馬力発動機におけるカム軸位相の調整データ

歪 輪 軸 調 整 表					
	360 ^m / _m	180 ^m / _m	度	銜程	
$\frac{1}{10}$ 歯	6.28	3.14	2°55'	0.60	歪輪軸楔3進×垂直軸 $\frac{1}{2}$ 戻ス
$\frac{2}{10}$ 歯	12.56	6.28	4°30'	1.20	歪輪軸楔1進ム
$\frac{3}{10}$ 歯	18.83	9.42	6°45'	1.80	垂直軸 $\frac{1}{2}$ 進×歪輪軸楔1戻ス
$\frac{4}{10}$ 歯	25.12	12.56	9°00'	2.50	歪輪軸楔2進ム
$\frac{5}{10}$ 歯	31.41	15.70	11°15'	3.40	垂直軸 $\frac{3}{4}$ 進ム
$\frac{6}{10}$ 歯	37.68	18.84	13°30'	3.70	歪輪軸3進ム
$\frac{7}{10}$ 歯	43.97	21.98	15°45'	4.40	垂直軸 $\frac{1}{2}$ 進×歪輪軸楔1進ム
$\frac{8}{10}$ 歯	50.24	25.12	18°00'	5.00	歯歪輪軸楔4進ム
$\frac{9}{10}$ 歯	56.53	28.26	20°15'	5.60	垂直軸 $\frac{1}{2}$ 進×歪輪軸楔2進ム
18即ち1歯	62.82	31.41	21°20'	6.30	歪軸輪楔5進ム

表 4-3 イスパノ 300 馬力発動機の弁開閉時期調整例

気筒番号		左側				右側				正規
		1	2	3	4	1	2	3	4	
排気始		46	45	46	45	44	44	45	47	45
排気終		8	11	9	10	14	14	11	8	10
吸気始		13	9	9	9	9	13	11	8	10
吸気終		51	50	50	49	49	51	51	49	50
弁隙間	排気	3	3	3	3.04	3.04	3	2.96	3.02	3
	吸気	3.02	3	3.02	3.02	3.02	3	2.98	2.96	3

【報告】32頁、より。

動機に複傾斜が無く、両バンク共、連桿、ピストンの動きが素直であったことはせめてもの幸いであった(26～33頁)。

ここでは同種の資料として例外的に良くまとまっているイスパノ 220 馬力発動機についてのデータを掲げておく。但し、このデータにおいては弁隙間調整については触れられていない。

最後に、一例として示されている調整表=妥協の産物を再掲し、前掲の合格基準との部分的齟齬を確認しつつ、この面倒極まる調整作業のイメージを膨らませて頂きたい。

以上は三菱イスパノ 300 馬力発動機現役時代の記録であるが、その後出版された書物の中にもイスパノ発動機の故障について若干の言及を見出し得るものがある。以下、航空局航空官駒林榮太郎・航空局技手阪本定治『航空発動機の故障とその取扱』(山海堂, 1938年)からイスパノ発動機に係わる軍用としては“時効”に属し、民間機用としては現役となっていた発動機なるが故に、極めてオープンかつ懇切な教示を紹介しておくことにしよう。

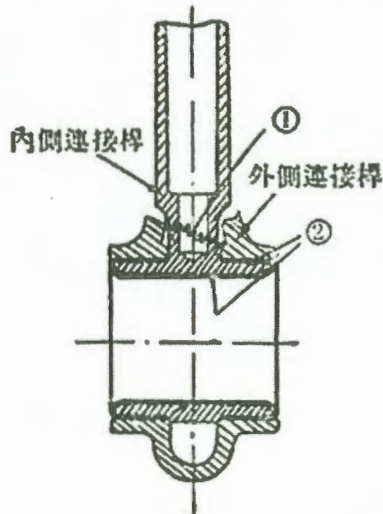
先ず、連桿について駒林・坂本は次の図と共にこう語っている。

抱合型は構造上、内側連接桿の大端部付根①に龜裂又は折損を生じ易く、大端部は圓筒形で内外共ホワイトメタルを鑄込み軸承を構成し、内側は曲軸ピンに、外側は二股に分れて外側連接桿に依り冠金と共に締め付けられてゐるから、此の部のホワイトメタルが缺损脱落することが多い。

外側連接桿は冠金を締め付ける4本のボルトが折れる事がある。之等の呼称は全く致命傷で活塞、気筒及び曲軸室等を大破し運転不能になる。此の呼称は構造、材質又は取扱不注意等に起因するもので取扱者は次の事項に留意しなければならぬ。内側メタルの摩耗多く間隙の大きいとき或はメタルの入換又は新品交換を行つたとき圓筒部中心が桿中心と直角になる様に摺合せ調整を要する。

外側連接桿の冠金締め付ボルトの折損は主として締過ぎに起因することが多い。その多くは割栓孔を合せることに氣を取られ知らず知らず締過ぎるものである。総てボルト・ナットの締め付は割栓孔の位置に関係なく一様に締め付け若し割栓孔の合はない時には新しく孔を

図4-4 イスパノ発動機連桿大端部の故障箇所



『航空発動機の故障とその取扱』8頁, 第8図(A)

穿け直すか又は適当な座金を挿入することである。尤も割れ孔の合はないものはボルトに伸びの生じてゐる場合もあるから特に注意して伸の程度に依つては交換する必要があらう(7~9頁)。

これは従前の引用、紹介と傾向的には符合する記述である。但し、ヨリ具体的であり、かつ、ボルトの塑性変形が語られている点に照らせば、当時、かなりシビアな締付法が常習されていた事実が判明する。勿論、塑性域角度法締付が実施されていたとすれば、かように曖昧な記述では済まされなかつた筈である。

クランク室についても具体的な事例紹介がなされている。図はその参考である。

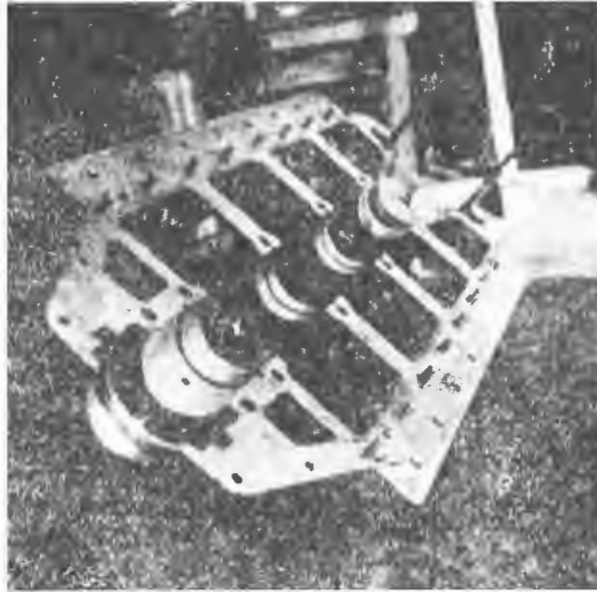
図はイスパノスイザ式の上部曲軸室で最も多く龜裂の生じる所は主軸承の枠に肉抜の圓がある所であつて、其の圓の一部から枠の面と直角の方向に龜裂を生じる。然し一旦龜裂を生じ應力の逃げを生じるとそれから後は進まない。その内に分解點検の時期が來て発見交換と云ふ順序となるので此の原因に依り大破した事は稀である。又主軸承締付ボルト附近から龜裂を生ずることもある。之等の故障は構造及び材料等に依るものである(14~15頁)。

前段は恰も損傷許容設計を解説した記述の如くであるが、「此の原因に依り大破した事は稀である」などという言い回しからはイスパノ発動機が損傷許容設計された機体とは比較にならぬ位、物騒な機械であつたらしい状況が窺われる。

排気弁の損傷に関しても具体的な、かなり恐ろしい記述が与えられている。

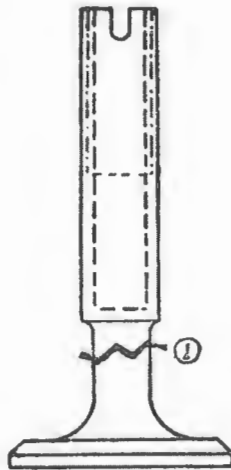
図は水冷式300馬力級の発動機2種類の排気弁の折損を示し①はイスパノ式に多く……発生する。弁棒が折れると弁が気筒内に落ち込むので活塞の上昇程に気筒頂部を大破し、特

図4-5 イスパノ300馬力発動機上部クランク室



同上書, 15頁, 第12図。

図4-6 イスパノ300馬力発動機の排気弁折損部位



同上書, 17頁, 第16図(A)。

に水冷式では冷却水の漏洩を来し運転不能となる。イスパノ式の折損は材質, 構造, 過熱に起因するものと考へられる。折れたものは皆過熱酸化を生じ折損部を叩くと酸化鐵が木の皮を剥がす様にとれて直径が1耗内外減る。此の発動機を取扱者は排気弁の過熱酸化状態を点検し若し弁棒の径1耗内外細つたものがあつたら取替へることである。過熱は氣化器の性能上燃料消費量の過少又は燃料の性質不良に起因するものと考へられるから取扱者

は弁がなるべく過熱しない様に調整することが肝要である。筆者の経験では馬力當り 235 瓦の場合最も良好であつた（同上書, 17～18頁）。

航空發動機の排気弁なるものは長時間、希薄燃焼を強いられるような状況下で使用されていた。上の文章はその苛酷な使用環境を手取るように解らせてくれる。とは言え、ここまで、文字通り身を削られる有様というのは弁棒を中空としネジで弁隙間を調整するという屁理屈的機構設計の根本に無理があつたのでは、と疑わしむるに足る状況である。

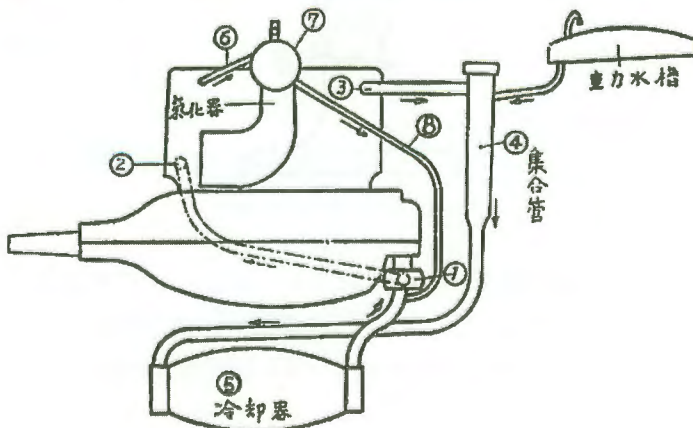
また、イスパノ及びローレン發動機は吸気管のフランジが2本のボルトで取り付けられる構造となつていたため、締付け過ぎれば却ってフランジが変形し、中央に隙間が開いたり、締付け部に亀裂が入ったりし易かつた。こうなれば即、起動困難、スロー調整困難となる他、2次空気の吸入によって混合比の低下を来し排気弁の過熱酸化を誘起する状況にも到る。特殊なパッキンを使用し、堅締めせぬように注意することが肝要、とある。また、吸気系における漏気の簡単な発見法として、絞り弁を全閉にした状態でクランク軸を逆転させ、吸気管から排気させる、ヨリ徹底するにはこの時、排気管に煙を吹き込むという処置が奨められている（同上書, 37～38頁）。

また、冷却水循環経路の整備不良に係わる不具合として次の例が紹介されている。

この不具合は①→②→③→④→⑤→①という形で構成される主循環経路の循環量が気化器加熱用の副経路⑥→⑦→⑧の流量過多により不足となり、過熱を生じたというモノで、その原因は整備に当り、⑥、⑧に正規よりも太い管を使用したことにあつた。駒林・坂本は：

斯様なことは故障と云ふよりも整備の不注意に屬するものであるが現在の民間の様に陸海軍より拂下げを受けて部品の不足勝なるものの整備に當る場合この様なことは起り勝であると思はれるので参考迄に記した次第である。

図4-7 イスパノ 300 馬力發動機の冷却水循環経路とこれに生じた不具合



同上書, 60頁, 第51図。

と述べている。

この下りからは逓信省技官としての精一杯の親心が偲ばれると同時に、著者が次に見る後継の 450 馬力型ではなく、ヨリ古い 350 馬力型ばかりを引き合いに出している事実からは両者に対する社会的評価の落差を窺い知ることが出来るのである