国産プロペラ物語

独自開発に立ちはだかる「可変ピッチ」の壁

機体後方にエンジンを搭載した独特の推進式プロペラ配置で知られる「震電」。特徴的な6枚プロペラは、大直径の4枚定速プロペラ完成までの暫定措置として生み出された。

零式艦戦六二型に搭載されたハミルトン・スタンダード式の定速プロペラ。アメリカ生まれのピッチ可変機構の国産化により、零戦は抜群の飛行性能を得ることができた。

プロペラは、エンジンの出力を「飛ぶ力」へと昇華させる重要なパーツであり、中でもプロペラピッチ可変機構は、航空機の性能を劇的に向上させる画期的な技術であった。日本の航空界は、海外の技術に依存しつつも独自開発を模索したが、その前途には当時の工業水準では手に余る技術の壁が待ち構えていた。

文・イラスト・写真提供＝野原　茂

紫電二一型（紫電改）の4枚定速プロペラ。ドイツのVDM式のライセンスを住友金属が取得し、電気式の可変機構を油圧に変更して国産化にこぎつけた。

プロペラの原理

ジェットエンジンが実用化されるまでの約四〇年間、航空機の動力はその始祖ともいうべき、ライト複葉機（一九〇三年初飛行）以来、レシプロ（ピストン）エンジンが唯一であった。

しかしジェットエンジンと異なり、レシプロエンジンは、それ自身のみで航空機を飛ばすことは出来ず、〝プロペラ〟という推力発生源を必要とした。ということは、いかに優秀なエンジンであっても、それに見合った適切なプロペラがないと、持てるパワーをフルに発揮できないということがわかる。

プロペラとは、わかりやすくいえば扇風機の羽根と同じであり、風を送る向きが前と後ろかで違うだけである。

その送る風が強く、速いほどプロペラを取り付けた物体は反作用の力で反対方向へと動く力を生む。持ち運びタイプの扇風機が倒れたり動いたりしないのは、それほど強い風をおこす必要がなく、回転数を低くしているからである。では、プロペラが回転すると何故、推進力が生まれるのだろうか？

それはプロペラの羽根に付けられた「捩り」によってである。ただの平べったい板を回転方向に厚みと平行するように付けて回しても、風はおきない。

だが、平板にほどよい捩れを付けて軸に固定し回転させると前・後いずれかの方向に空気が押しやられ、風がおきる。この捩りを専門用語で『ピッチ』と呼ぶ。ピッチは、プロペラが一回転して進む距離をも意味する。

ピッチの向きをプロペラの回転方向に対し、正・負いずれにするかによって、空気を押しやる方向が前・後のどちらかになるわけである。

プロペラの断面形は、空気を〝切り裂き〟やすいよう、前面にカンバー（弓なり・山形）が付き、裏面は平坦に近いものとなっている。しかも前方の厚みが大きく、後縁は薄く絞り込んであり、断面形は航空機の主翼のそれと同じである。極論すれば、プロペラは主翼に捩りを加えたものといってよい。

主翼は、速度が増すと上面と下面が非対称断面ゆえに、気流の速さ・圧力に差が生じ、カンバーが強い上面のそれが速く、圧力が低くなるゆえに、主翼を上方に吸い上げる力が生じる。これを「揚力」という。

プロペラが回転すると、この主翼と同じ現象が起きるのだが、それを揚力とは呼ばず「推力」と呼ぶ。揚力が地上に対して垂直方向に作用するのに対し、推力は地上に対し平行に作用するからである。

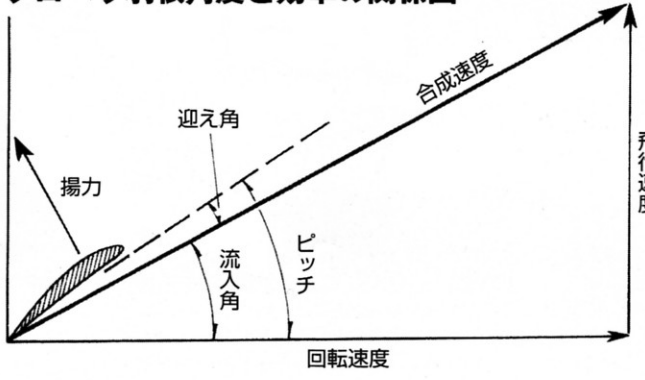
ただしプロペラの場合は、機体が前進することによって前面（主翼に例えると上面側）からも気流を受けるのと、一点を中心に回転するため、羽根の先端にいくほど空気に対する速度が上がる。このため均等に推力を発生するよう、付け根から先端に向けて断面形を変え、ピッチの度合いも変化させる必要があった。

プロペラの回転により、勢いよく後方に押しやられた空気は密度が高く、捩れた乱流になる。機体の前にプロペラが付く、いわゆる「牽引式（トラクター式）」と呼ばれる通常形態では、この乱流が機体に当たり、空気抵抗となって前進する力を少なからず殺ぐ。

ならば、エンジンを後ろ向きに固定し、プロペラ後流に晒される機体部分を少なくしようと考え、いわゆる「推進式（プッシャー式）」と称する形態が生まれた。この推進式形態は、最初の動力飛行に成功したライト複葉機をはじめ、第一次大戦中に実用化された各国の複葉軍用機群の一勢力を形成した。

とはいえ、当時の複葉軍用機の性能では牽引式も推進式も形態の違いだけで、飛行性能面に大きな差が出るというレベルではなく、エンジン出力と機

プロペラ羽根角度と効率の関係図



プロペラは、機体が前進することで羽根の前面からも風をうけるため、プロペラの回転速度と飛行速度の合成速度で、空気に対して運動するということになる。この合成速度に対し、羽根が適切な角度をもつことにより、推力が発生する。このプロペラ理論の起源は意外に古く、レオナルド・ダ・ヴィンチが描いたヘリコプター模型のスケッチにも登場している。

体設計の良否、それに重量の差で性能が決まった。しかしその後、推進式は「離着陸時の機首が上がった状態では、プロペラが機体後部にあるため路面と接触しやすい」という欠点が顕在化したことから牽引式が主流になった。

木製プロペラ全盛期

ライト複葉機がそうであったように、航空揺籃期の機体は、ほとんどが木製二枚プロペラであった。

当時は航空機の構造も、木製骨組みに羽布張り外皮、上・下翼支柱間をピアノ線で補強するというものだったし、軽くて強度の高いアルミニウム合金（ジュラルミン）は、まだ航空機用材料として認識されておらず、プロペラの材料も木材しか無かったのである。

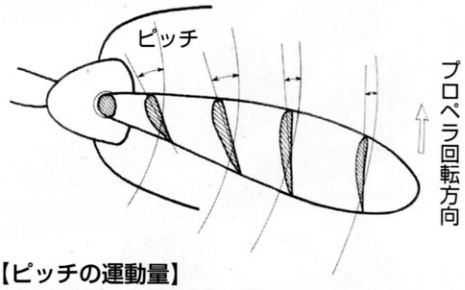
当初は一本の丸太を削り出し、「竹トンボ」の要領で作っていたのだが、それでは無駄が多くて大量生産にも向かないため、やがて何枚かの板を貼り合わせたものを削り出すという方法が一般化した。左下の図は、その製作手順を、二枚プロペラを例にして示したもの。

材料となる木は当初、軽いことが重視され、機体骨組み材と同じくスプルース（とうひ＝檜の類）が用いられたが、軸に取り付ける際、金具で締め付けると強度が弱く、裂け目を生じやすいことがわかり、後にはより硬度の高いマホガニーやクルミが使われた。

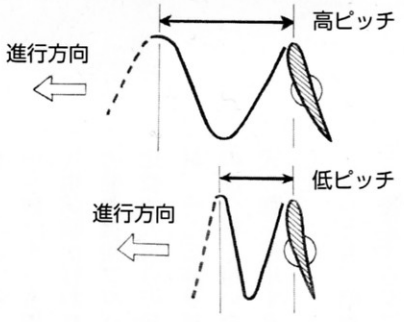
第一次大戦が始まり、航空機が兵器としての地位を確立すると、その使用条件も厳しくなり、不整地での離発着時に地面に接触して折れたり裂けたりし、また雨や霰に当たると、表面がデコボコになって使い物にならなくなるような例が続出した。

そこで補強策として考えられたのが、回転方向の縁（前縁）に沿って真鍮製の金属鈑を貼る方法。また、プロペラ羽根全体を羽布、またはプラスチックの膜などで覆って特殊塗料で塗り固め、

プロペラ羽根断面の変化

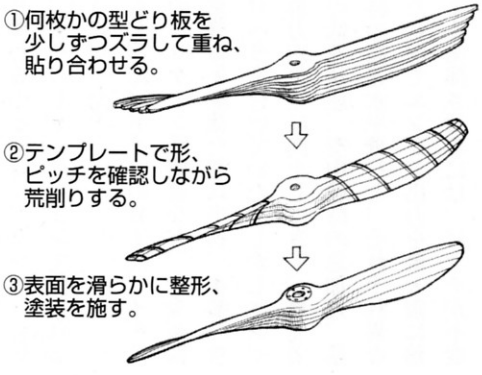


【ピッチの運動量】
（羽根が1回転して進む距離の差）



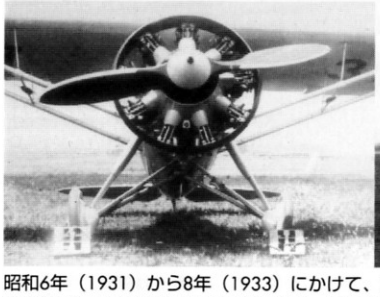
金属可変ピッチ・プロペラを例にした、羽根（ブレード）断面の変化。木製固定ピッチ・プロペラと異なり、ピッチを変化させるには、羽根の付け根を回転可能な形状（円柱状）にする必要がある。また先端にいくほど厚みと捩れ（ピッチ）も少なくなる。捩れ位置の基準値は、プロペラ半径の75%位置とされ、効率の点でも最大値とされている。

木製2枚プロペラの製作手順一例



木製プロペラを装備した日本陸軍機

中島九一式戦闘機



三菱九二式偵察機

川崎九三式単軽爆撃機

昭和6年（1931）から8年（1933）にかけて、順次制式採用された陸軍機3種の木製2枚プロペラ。機体により羽根の形、ピッチの向き、中央軸まわりの処理などに相違がある。写真は木製プロペラ装備の中島九一式戦闘機、三菱九二式偵察機、川崎九三式単軽爆撃機で、直径はそれぞれ2.80メートル、2.90メートル、3.00メートル。九一式戦と、九二式偵の羽根前縁には、補強鈑が付いている。

木製プロペラの“究極製品”ともいうべき、被包式2枚プロペラを装備した、陸軍九五式一型乙練習機。ドイツのシュヴァルツ式に倣ったもので、表面を金網で覆った後、合成樹脂塗料で塗り固めてある。羽根の前縁には真鍮（しんちゅう）鈑の保護材も貼ってあり、木製プロペラとしては抜群の強度をもっていた。

ペラを製作していた。しかし高価なうえに、将来の資源確保という観点からも国産木材による代用試験が行われ、海軍は小馬力発動機用プロペラには樅（もみ）材、比較的大馬力の発動機用には樺（かば）材、そして陸軍は、エゾ松などの混合材を用いたシュヴァルツ式の物を使用する方針を打ち出した。

もっとも、昭和十年代に入ると、後述するジュラルミン製プロペラが普及したので、〝自前材料〟を用いた木製プロペラは、練習機など小馬力発動機を搭載した機体くらいにしか使われなかった。

金属製可変ピッチ・プロペラの登場

補強金属鈑を貼り、表面を保護皮膜で覆ったりして、耐久性が格段に増した木製プロペラだが、地面などに接触すれば、たちまち折れたり裂けたりするというモロさは、根本的に変わらなかった。

一九三〇年代に入り、世界列強国の主力軍用機が従来の複葉羽布張り構造から、近代的な全金属製の単葉構造に切り換わるのと同時に、プロペラも金属、すなわちジュラルミンで作られるようになった。

もちろん、ドイツのBf109、イギリスのハリケーン戦闘機など、全金属製単葉機の先駆機たちは当初、木製二枚プロペラを付けていた。しかしエンジン馬力が急速に向上してきて、離発着時の低速状態、空中戦時の急加速、巡航時の高速水平飛行と、それぞれ異なった状況でエンジン出力を最大限に効率よく発揮させるには、ピッチが不変でしかも肉厚な木製プロペラでは、ロスが目立つようになってきた。

こうした諸々の事情が背景にあって、ジュラルミン製プロペラが急速に普及したのだが、その発祥の地はアメリカであった。

スタンダード・スチール社は、ジュラルミンの棒材を機械ハンマーで叩き、硬度、強度を高めたプロペラ羽根の製作法を考案した。やがて、その製造を請け負ったハミルトン社と合併し「ハミルトン・スタンダード社」となり、アメリカ国内はもとより世界各国にも輸出して大繁盛した。

金属プロペラは、木製と違って羽根を一枚ずつ個別に製作し、『ハブ』と呼ばれる中心金具に取り付けるので、枚数を自由に（といっても六枚が限度。理想は三または四枚）選択でき、ハブへの取り付けを加減して、ピッチを任意に設定できるのが大きな長所である。

木製の場合、強度の面で羽根の肉厚を最大幅（翼弦長）の一二パーセント以下に薄くすることは不可能だったが、金属製ではこれを八パーセントまで薄くすることができ、効率や重量の面でも有利だった。

最初に標準化されたハミルトン・スタンダードの金属プロペラは二枚羽根で、ピッチは地上でのみ調整可能（飛

九〇式二号二型水上偵察機に4か月遅れ、昭和7年（1932）4月に制式採用された、同じ中島製の九〇式艦上戦闘機。当然、中島がライセンス生産した、ハミルトン式調整ピッチ2枚プロペラ（直径2.69メートル）を装備している。

強度を高める方法も考案された。こうした〝補強木製プロペラ〟は、一九三〇年代前半までの長期にわたって使用され続けた。ちなみに、プラスチック膜で覆う手法はドイツのシュヴァルツ社が考案したもので、〝シュヴァルツ式プロペラ〟と呼ばれた。

日本では、昭和ひと桁時代までアメリカ産のマホガニー材を輸入してプロ

行中は固定される）な『調整ピッチ・プロペラ』だったが、やがて飛行中も操縦者のマニュアル操作で、油圧によって二段階に変更できる『二段可変ピッチ・プロペラ』に発展する。

日本に初めてハミルトン・スタンダード製金属二枚プロペラがもたらされたのは、昭和四年（一九二九）のことで、海軍がアメリカのボート社から研究用に購入した、O2U－1コルセア水上偵察機がこれを装備していた。

ノモンハン事変（昭和14年5～9月）当時の陸軍主力戦闘機、中島九七式戦闘機が装備したハミルトン式調整ピッチ2枚プロペラ（直径2.90メートル）。ハブ中心から伸びている突起は、始動車を使って発動機を始動するためのもの。

木製プロペラに比べて、はるかに効率のよい金属プロペラの威力を目の当たりにした海軍は、中島飛行機（株）を通じてO2U－1のライセンス生産権を取得（昭和六年に九〇式二号二型水上偵察機の名称で制式採用）するとともに、同社がハミルトン・スタンダード社と交渉して、金属可変ピッチ・プロペラの製造権も取得した。後には住友金属工業（株）がその権利を買い取り、一括担当することに決まった。

これと前後し、日本陸軍も静岡県浜松市に所在した日本楽器製造（株）を通じて、同プロペラのライセンス生産権を取得する。「楽器メーカーが何故プロペラを?」と不思議に思われるかもしれないが、もともと浜松はピアノをはじめ木材を使う楽器の製造が盛んで、同じ木工品であるプロペラの製造も請け負っていたからである。

このように、昭和五年（一九三〇）制式採用を示す九〇式各機種以降、日本陸・海軍の主要実用機の金属プロペラは、すべてハミルトン・スタンダード社の国産品で占められることになったわけである。

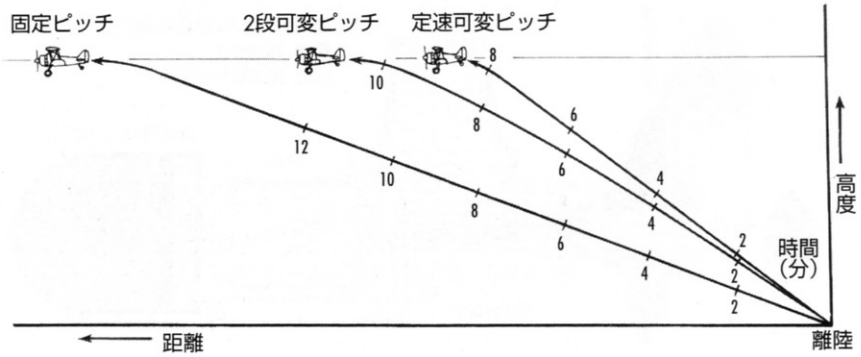
二段可変ピッチ・プロペラから定速プロペラへ

二段可変ピッチ・プロペラは、確かに航空機の性能、とりわけ戦闘機や輸送機のように、飛行状況や機体重量の変化が激しい機種の性能向上に目覚ましい効果を発揮した。しかし、単座戦闘機の場合、パイロット一人が全てをコントロールするわけであり、状況が一瞬で変化する空中戦などの最中に、いちいちピッチの切り換えをするヒマなど無いのが現実だった。

そこで、可変ピッチ・プロペラの発祥国アメリカでは、ハミルトン・スタンダード社の他、機体メーカーのカーチス社が、飛行中のいかなる状況下でもエンジンに過度の負荷がかからぬよう、ピッチを自動的に変化させて回転数を常に一定に保てるようにした、新しい可変ピッチ・プロペラを開発した。

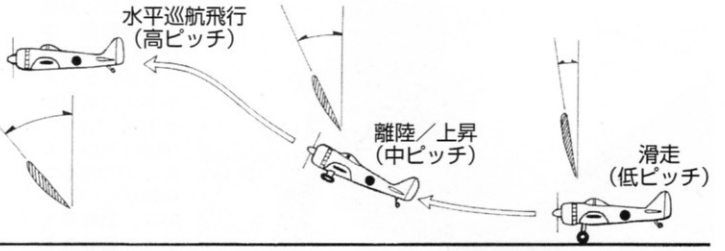
このタイプは、一般に「定（恒）速プロペラ」または「定回転プロペラ」(Constant speed Propeller) と呼ばれ、ピッチ変更のエネルギーをハミルトン・スタンダード社は油圧、カーチス社は電気モーターとしたのが明確な違い

ハミルトン・スタンダード社による、各プロペラの上昇性能差実験データ



航空機が離陸し、一定の高度に到達するまでに要する所要時間と飛行距離をプロペラピッチの方式ごとに示した。一定の範囲で連続的にピッチを可変できる定速プロペラはエンジン出力を有効に使えるため、上昇の所要時間、距離とも従来方式より短い。エンジンにかかる負荷も軽減されることから、エンジン寿命の伸長や整備性向上という恩恵もあった。

定速可変ピッチ・プロペラの、各状況におけるピッチ



エンジンには最も出力効率がよい回転域がある。これを常に保って飛行することが理想だが、飛行状況によってエンジンへの負荷が増減し、回転数に影響を及ぼす。それを調整するのがプロペラピッチの役割である。大きな力を必要とする滑走時には低ピッチ、上昇時には中ピッチ、負荷が少なく過回転に陥りやすい巡航時には高ピッチに調整して最適な回転域に保つ。

だった。ハミルトンと、後述するラチエ式を例にしたピッチ変更システムは、下図に示した通りである。

定速プロペラの効果は歴然としており、上昇性能に関したハミルトン・スタンダード社における実験では、従来までの二形式に比べて、かなりの差が出たとしている（85ページ下図参照）。

定速プロペラを装備したアメリカ陸軍の最初の戦闘機は、一九三五年初飛行のセバスキーP－35。同海軍戦闘機は同年初飛行のグラマンF3F艦戦だった（ともにハミルトン・スタンダード式）。

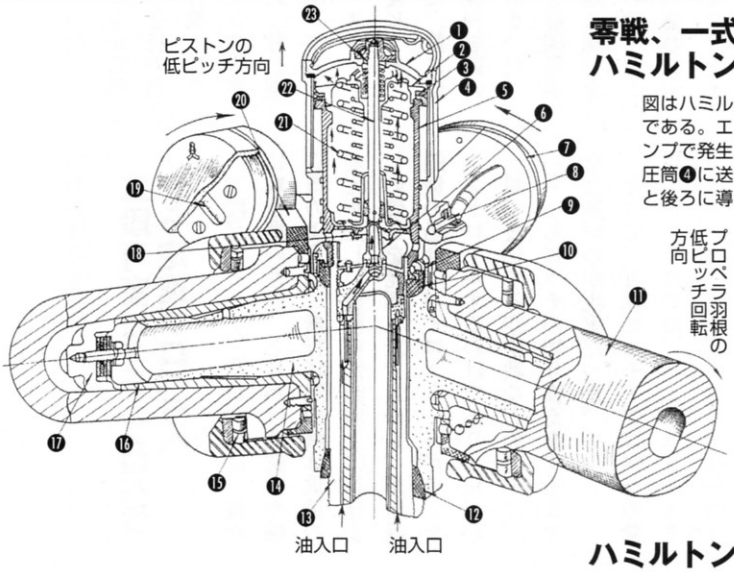
日本海軍機用の可変ピッチ・プロペラの製造を一括担当していた住友金属工業も、定速プロペラの製造権を継続して取得し、昭和十四年（一九三九）四月、かの有名な〝零戦〟の原型機、十二試艦上戦闘機『A6M1』の試作一号機に初めて装備された。

零戦の高性能の秘密は、卓越した機体設計と、中島製『栄』発動機に負うところ大だが、このハミル

ハミルトン・スタンダード式定速プロペラ

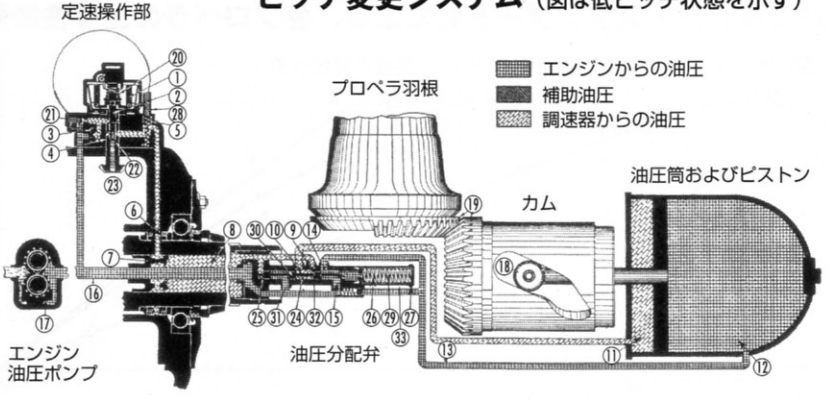
零戦、一式戦などが装備した、国産のハミルトン式油圧定速3枚プロペラ構造図

図はハミルトン・スタンダード社の油圧式ピッチ変更システムである。エンジンの回転を利用した歯車ポンプと、調速器のポンプで発生した油圧は、プロペラ軸を通ってハブ中心前方の油圧筒❹に送られるが、各油管は油圧筒内のピストンを挟んで前と後ろに導かれる。双方の圧力の強弱によるピストンの前後動が後方のカムを回し、傘歯車で接するプロペラ羽根❶のピッチを変更するのである。エンジン回転速度の変化は、調速器の遠心重錘❼により検知し、自動的に操作弁が動いて油圧筒内ピストンの前後に導く油圧を加減した。下図は、日本が国産化した型より高度な機構を持つものである。



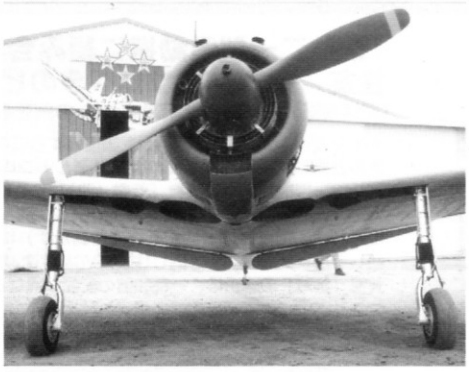
❶油圧筒蓋ネジ ❷パッキン革抑ネジ ❸パッキン革前後 ❹油圧筒 ❺締付ネジ ❻油送管 ❼重錘 ❽制御ボルト ❾締付ネジ折環 ❿前部挟子 ⓫プロペラ羽根 ⓬後部挟子 ⓭プロペラ取付軸 ⓮軸体 ⓯ころ軸受 ⓰プロペラ羽根筒 ⓱油止板 ⓲油送管パッキン抑え ⓳可動範囲調整ネジ ⓴重錘腕金 ㉑バネ ㉒振り止め軸 ㉓振り止め軸回り止め

ハミルトン・スタンダード定速プロペラのピッチ変更システム（図は低ピッチ状態を示す）

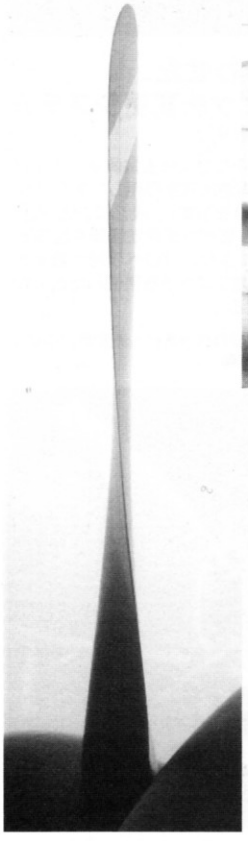


①調速器遠心重錘 ②操作弁 ③油圧ポンプ ④駆動軸 ⑤切換弁 ⑥エンジン軸の油薬環 ⑦プロペラ軸の気密プテッグ ⑧プロペラ軸内油通路 ⑨分配弁油孔 ⑩分配弁油孔 ⑪油圧筒後部 ⑫油圧筒前部 ⑬油管 ⑭分配弁油孔 ⑮分配弁油孔 ⑯エンジン油管 ⑰エンジン油圧ポンプ・リリーフ弁 ⑱カム・スロット・ローラー ⑲傘歯車 ⑳調速器調整バネ ㉑調速器リリーフ弁 ㉒排油孔 ㉓駆動軸歯車 ㉔分配弁 ㉕分配弁 ㉖分配弁バネ ㉗分配弁室 ㉘補助高圧油管 ㉙分配弁外端 ㉚分配弁突起 ㉛分配弁油孔 ㉜分配弁突起 ㉝分配弁リリーフ弁

トン・スタンダード定速プロペラの存在ぬきには語れないこともまた事実だろう。まさにグッド・タイミングだった。



陸軍の一式戦一型『隼』が装備したハミルトン定速2枚プロペラ。直径2.9メートルで零戦と同じだが、羽根数が少ないぶん効率で少し劣った。左の写真はプロペラの捩れた部分を拡大したもの。通常写真ではいまひとつ把握しにくい、付け根から先端にかけての羽根の捩り具合もわかるだろう。この2枚プロペラの重量は合計110キロ、ピッチ変更範囲は26～46度だった。

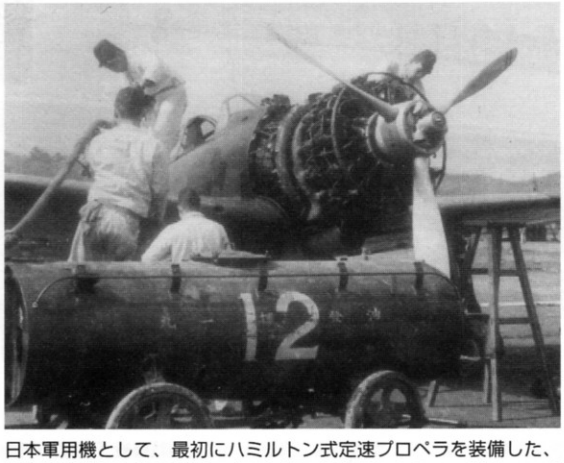


ちなみに零戦とほぼ同時期に、似たようなポリシーで設計された陸軍の一式戦闘機『隼』の初期生産型一型は、発動機も『栄』一二型と同系の『ハ二五』だったが、プロペラは零戦の三枚羽根と違って二枚羽根（直径二・九メートル）を装備した。その結果、機体重量は一号型零戦『A6M2』より一五〇キロほど軽かったが、最大速度は三〇キロ以上も遅い時速四九五キロにとどまっている。

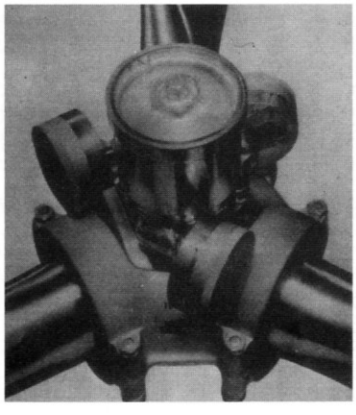
これは機体外形の空気力学的な洗練度の違いが主要因と考えられるが、ほぼ直径が同じプロペラが、片や三枚に対して二枚ということも少なからず影響している。直径が同じであれば、二枚より三枚のほうが明らかに推進効率が高いからである。

それを認識した中島は、次に生産した二型以降、三枚羽根に替えたのだが、直径を一〇センチ短縮した二・八メートルに設定したため、同系の発動機を搭載した二号型零戦『A6M3』――プロペラ直径三・〇五メートル――に対し、最大速度の差は縮まらなかった。

本稿末尾の総括でも触れるが、零戦と一式戦の比較でも明らかなように、プロペラの選定はさほどに重要だったのだ。



日本軍用機として、最初にハミルトン式定速プロペラを装備した、海軍の零式艦上戦闘機。写真は初期の主力型である二一型で、スピナー前半部分を外しており、ハブまわりのディテールがよくわかる。このプロペラの直径は2.9メートル、重量は140キロ、ピッチ変更範囲は25～45度だった。



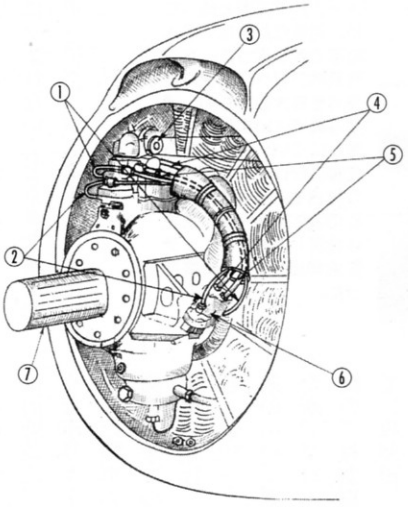
ハミルトン・スタンダード定速3枚羽根プロペラの、ハブまわりクローズ・アップ。中心から前方（画面では上方）に突き出た筒状部が、ピッチ変更用油圧筒である。各羽根の付け根から伸びる腕に付く、円柱を輪切りにしたようなものは、羽根が回転し、遠心力が働いて捩れ運動（モーメント）が発生するのを抑えるためのオモリ（平衡重錘――バランス・ウエイト）。

最後まで外国のプロペラ技術に依存した日本陸・海軍

零戦を皮切りに、以後の日本陸・海軍新型機の大半がハミルトン式定速プロペラを装備している。まさに本プロペラなくして、日本軍用機は成り立たなかったと言っても過言ではない。

しかし日中戦争を契機に、対日制裁を強めたアメリカからの、プロペラを含めたあらゆる航空技術情報入手の道

VDM式定速プロペラ

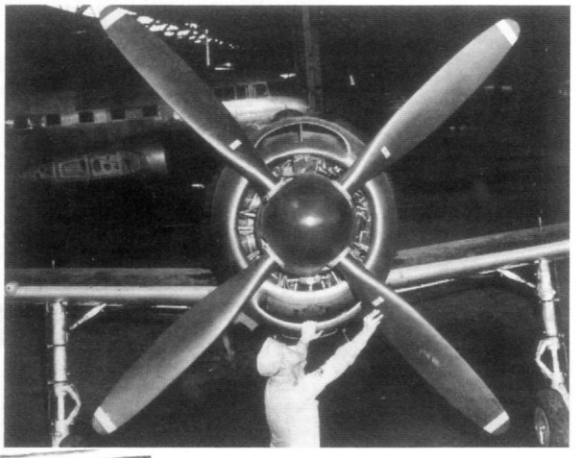


『誉』二一型発動機に組み合わせた、住友／VDM4枚プロペラのピッチ変更システム

（図は海軍局地戦闘機『紫電（改）』の例を示す）

ドイツのVDM定速4枚プロペラを国産化するにあたり、住友金属は、オリジナルと同じ電動機構がつくれず、ハミルトンの油圧式を応用したもので代替した。図は、局地戦闘機『紫電（改）』のそれを示す。『誉』二一型発動機の減速歯車室の上部に調速器を設置し、高・低ピッチ用油圧管を左側面に通し、油圧原動機（油圧で歯車を動かす）により、プロペラ付け根部を回してピッチ変更する。同じ住友／VDM定速4枚プロペラを装備した局地戦闘機『雷電』の場合は、一部装置の配置が異なる。

①耐寒用保温管　②排油管　③プロペラ調速器　④プロペラ低ピッチ油管⑤プロペラ高ピッチ油管　⑥油圧原動機　⑦プロペラ取り付け軸



局地戦闘機『紫電改』の、住友／VDM定速4枚プロペラを正面より見る。かたわらの米軍兵士と比較すると、その大きさがわかり、いかにも2000hp級エンジン搭載機らしいが、これでも直径は3.3メートルにすぎず、欧米同級機からみれば甚だ小さい。重量203キロ、ピッチ変更範囲は最大43度まで。

驚異の前翼（エンテ）型戦闘機、海軍十八試局地戦闘機『震電』の試作1号機が装備した、住友／VDM定速6枚プロペラ（直径3.4メートル）。見た目は勇ましいが、本文中にも記した通り、これはもっと直径の大きい4枚プロペラができるまでの急場しのぎ、間に合わせであった。6枚羽根ともなると、重量は310キロにも達した。

が閉ざされてしまい、ハミルトン・スタンダード定速プロペラの更新は事実上不可能になった。

そのため海軍は、枢軸同盟国であり、かつ航空技術先進国だったドイツに頼り、同国有数のプロペラ・メーカーVDM社の四枚プロペラ製造権を住友金属に取得させ、昭和十八年（一九四三）以降、局地戦闘機『雷電』『紫電（改）』『烈風』、艦上攻撃機『流星』などに装備させた。

VDM四枚定速プロペラのピッチ変更システムは、ハミルトンと異なり、ハブ内部に設けた差動歯車群のピニオン歯車を回転させて行うのが特徴で、ピッチ変更範囲に制限がなく、歯車群の駆動制御に電気式調速器（ガバナー）を用いるのがミソだった。

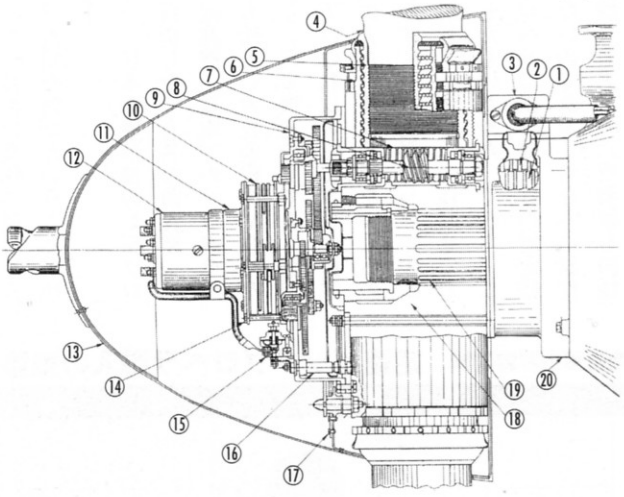
だが、後述する日本陸軍の『ペ三一』プロペラと同様、海軍もこの電気式調速器をオリジナルと同様な、信頼性の高い製品に仕上げる技術がなく、苦肉の策としてハミルトン式油圧駆動システムに差し替え、なんとか実用にこぎつけたのだった。

そうした努力にもかかわらず、住友／VDM四枚プロペラには故障、振動、ガタつき、ハンチング（エンジン回転が勝手に上下する現象）などの諸問題がつきまとい、『雷電』などは振動問題に振り回されて一年以上も実用化が遅れた。さらに生産機のプロペラでさえ、外観上あきらかに違いのわかるタイプが三種類も存在し、苦悩の程が偲ばれる。

結局、最後には羽根（ブレード）の剛性不足が主な原因らしい、ということがわかったのだが、この一件を見て

ラチエ式定速プロペラ

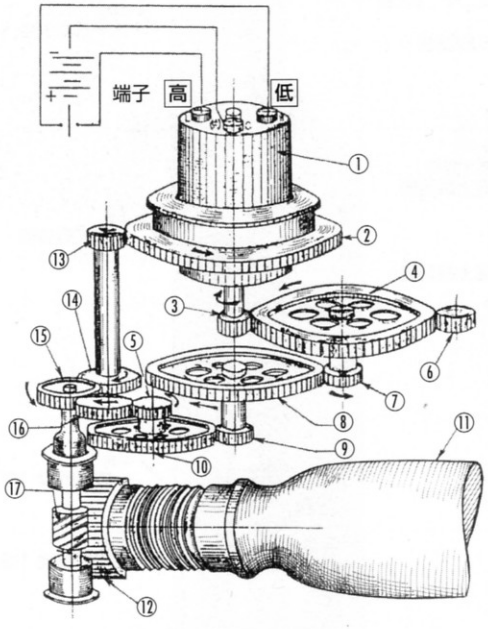
ラチエ式『ペ三二』定速プロペラ構成図



陸軍四式戦闘機『疾風』が装備した、ラチエ式『ペ三二』定速4枚プロペラの、本体構造および電気式ピッチ変更メカニズム。発動機により駆動される調速器は遠心式で、発動機の回転が所定より過大になると、機体側の電源を高ピッチ用刷子に連結し、＋（プラス）電流を高ピッチ用遮断器を介して電動機に送り、プロペラ羽根付根歯車を右回転（付根側から見て）させて高ピッチにする。発動機回転数が所定より下がったときは、低ピッチ用刷子が連結して、－（マイナス）電流を電動機の低ピッチ端子に流し、プロペラを低ピッチにする。現実には電気式制御系統に不具合が多く、四式戦の重い足枷になってしまった。

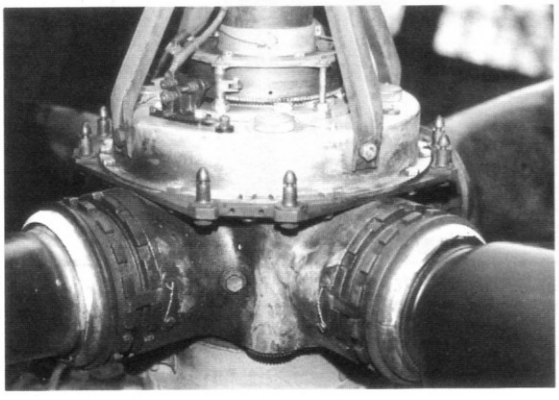
①集電子　②刷子（ブラシ）③刷子保持器　④プロペラ羽根、⑤ハブ内筒　⑥ハブ外筒　⑦プロペラ羽根歯車　⑧プロペラ羽根ウォーム歯車　⑨歯車室　⑩カム　⑪歯車室前蓋　⑫電動機（モーター）⑬プロペラ・スピナー　⑭電流遮断金具　⑮電流遮断器　⑯歯車室接続栓　⑰歯車室取り付けフランジ　⑱ボス金具　⑲プロペラ取り付け軸　⑳刷子支持盤

『ペ三二』ピッチ変更メカニズム概略図



①電動機（モーター）②カム歯車　③電動機歯車　④第一大歯車　⑤第三小歯車　⑥油歯車　⑦第一小歯車　⑧第二大歯車　⑨第二小歯車　⑩第三大歯車　⑪プロペラ羽根　⑫プロペラ羽根付根歯車　⑬カム小歯車　⑭カム伝導歯車　⑮二重歯車　⑯中間歯車　⑰プロペラ羽根付根ウォーム歯車

ペ三二のピッチ可変機構部



陸軍四式戦闘機『疾風』のラチエ式『ペ三二』4枚プロペラ。ピッチ変更を電気式に行う点で、ドイツのVDM、アメリカのカーチスと同じであったが、設計はやや劣った。しかもライセンス生産を担当した日本国際航空工業に、このシステムを信頼性の高い製品に仕上げる技術がなく、何より、そのプロペラ直径を3.1メートルという極小値に設定したことは空力上の大失策だった。写真左はスピナーを外し、ハブまわりをクローズ・アップしたところ。上端に突出した筒状部に、ピッチ変更の動力となる電気モーターがある。ちなみに、この『ペ三二』の重量はスピナーを含めて185キロ、ピッチ変更範囲32～60度だった。

も、プロペラの良否は機体の運命さえ左右する、重要な鍵だということが理解できよう。

ところで、日本海軍最後のレシプロ戦闘機を目指した、有名な前翼型（エンテ型）戦闘機『震電』のプロペラが、世界的にも珍しい六枚羽根のVDMだったことが、日本機通の間でよく話題となる。実はこれは苦しまぎれの措置で、直径の大きい四枚羽根をつくるのが間に合わず、三枚羽根用ハブの生産治具を流用し、それを二つ合わせて六枚羽根にしたものだった。だから、この六枚プロペラは試作機だけの暫定措置にすぎないのである。ちなみに試作陸上偵察機『景雲』の六枚羽根も同様であった。

いっぽう、何事につけて海軍と張り合った陸軍は、住友のVDM式四枚プロペラを新鋭四式重爆『飛龍』に装備したものの、〝大東亜決戦号〟の称号を奉った四式戦『疾風』には、フランスのラチエ式定速プロペラを採用することにして、海軍に対する面子を保とうとした。

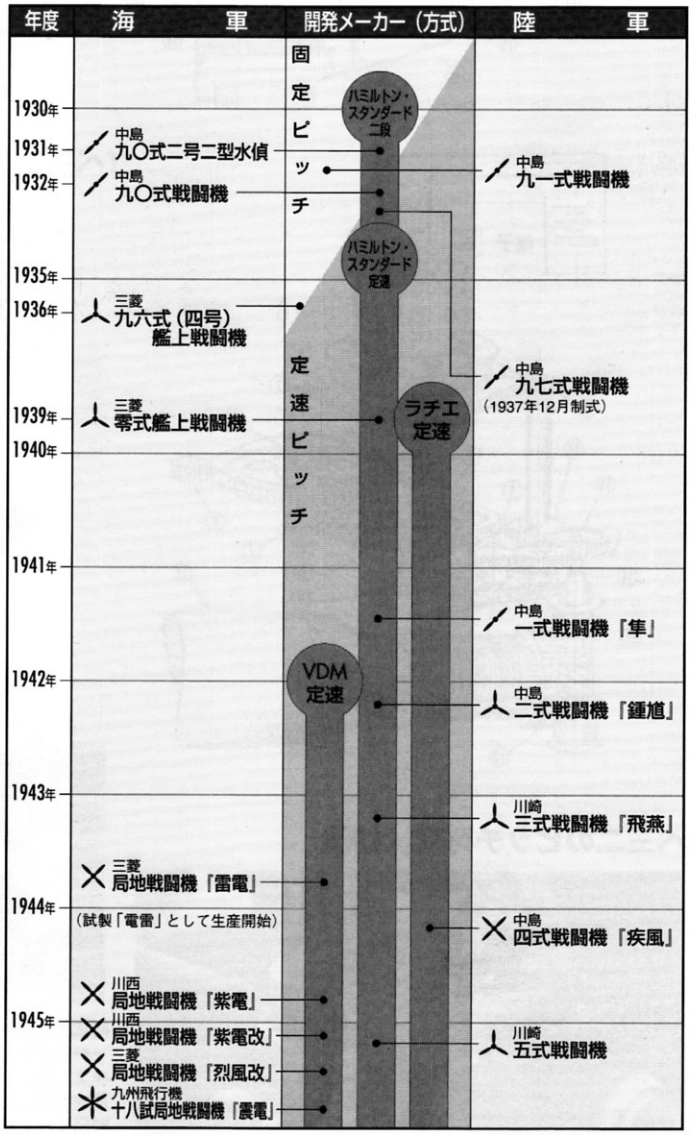
フランスは一九四〇年六月にドイツに降伏したが、その少し前に陸軍が日本国際航空工業（株）を通じ、ライセンス製造権を取得させていたのである。そして、住友のハミルトン式を装備する予定だった三菱九七式重爆撃機二型の一部が、量的不足を理由に、ラチエ式定速三枚プロペラを併用していた。

ラチエ式も、ドイツのVDMと同じく電気式制御システムにより、ピッチ変更を行うタイプであった。前述の通り住友／VDMは、その電気式調速器が製造できずにハミルトンの油圧式システムと〝合体〟させたが、日本国際航空工業は果敢にもオリジナルと同じ方式に固執し、特に四式戦用として『ペ三二』と命名した四枚羽根のプロペラをつくった（89ページの図参照）。

『ペ三二』は、九七式重爆二型の一部が装備した『ペ三Ⅱ』と異なり、羽根を四枚にした他、ピッチ変更速度を毎秒一・二度から六・六度に速めたことが大きな違いだった。『ペ三二』は幸いにして四式戦の実機が現存し、整備・取り扱いに関する当時の一次資料も残っていて、詳細に知ることができる。

しかし、日本国際航空工業の努力にもかかわらず、四式戦に装備された『ペ三二』は、電気式制御系統に故障、不具合が頻発し、発動機『ハ四五』（海軍名称『誉』）の不調とあわせ、性能、稼働率を著しく損ねた。〝大東亜決戦号〟の勇ましい称号にそぐわない実績しか残

日本陸海軍主要戦闘機　定速ピッチプロペラ導入の推移



図は陸・海軍の主な戦闘機の定速プロペラ導入の状況を示したもの。ハミルトン式は、1934年頃と導入時期が他の方式より早く、十分な研究がなされて安定した品質のプロペラが生産できた。しかしラチエ式、VDM式は可変機構が電気駆動であったため、油圧駆動のハミルトン式で得られた製造ノウハウが生かしにくかった点や、機体設計への導入が開戦後で研究が不十分だったこともあり、安定した品質のものは作れなかった。

歴史群像 2007年2月号 No.81

せなかったのは、悲痛としか言いようがない。

総括、日本のプロペラ事情

かえりみて、日本陸・海軍は、レシプロ軍用機にとって性能発揮の源であるプロペラ、それも金属可変ピッチ・プロペラに関し、独自の研究・開発をほとんど行わなかったことがわかる。

これは戦闘機の射撃照準器、機銃、無線帰投方位測定器などの艤装品についても同じことが言える。欧米航空先進国に比べ、どうしても後塵を拝しているという負い目があり、機体、発動機の設計技術向上にのみ努力を傾注し、それ以外の副次的テーマをなおざりにした面は否定できない。

当事者たちの回想録をみると、それを官・民双方の航空技術陣の総体的な余裕のなさのせいだと片づける向きもあるが、筆者が思うに、航空技術に対する意識の偏重こそが、根本的な原因と考える。

一例を示せば、日本陸・海軍機、とりわけ一五〇〇hp以上の発動機を搭載した単発戦闘機のプロペラ直径が、異常に小さく設定されていたこと。

そもそも理想のプロペラとは、できるだけ大きな羽根を、少ない回転数で回すことであり、これによって高い推進効率が得られる。とはいえ、搭載する発動機の出力、機種ごとの諸条件を満たすために、それなりの制約があり、プロペラ直径をむやみに大きくすることはできず、自ずから現実的な値に落ち着くのだが。

それでも、第二次大戦中に登場した欧米の二〇〇〇hp級単発戦闘機のプロペラ直径は、三枚羽根の場合で四メートル前後。四枚羽根で三・八メートル前後が普通だった。

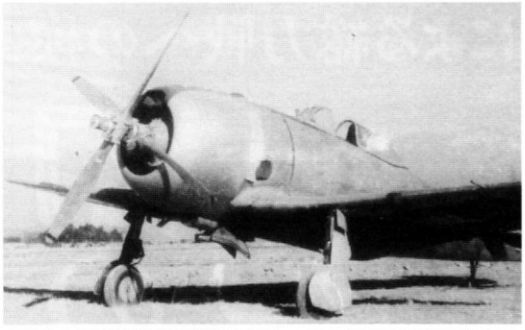
ひるがえって、日本海軍の『誉』発動機（一九〇〇hp）を搭載した『紫電（改）』の住友／VDM四枚プロペラは、直径三・三メートル。同系発動機『ハ四五』を搭載した陸軍四式戦の『ペ三二』四枚プロペラは、なんとわずか三・一メートルに過ぎなかった。

一説によれば、四式戦のプロペラは主脚をできるだけ短くし、重量を軽く仕上げるために、あえて直径を小さく設定したともいわれる。だが、これではエンジンの出力を自らロスしていることになり、本末転倒と言われても仕方のないところだ。

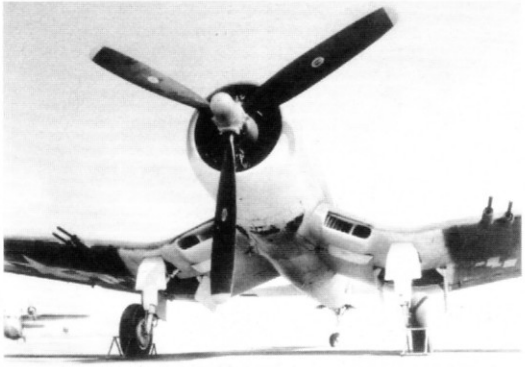
速度、上昇力を優先する戦闘機にとって、プロペラ直径が不適切だとこれらの性能に大きな影響を与える。紫電（改）、四式戦の性能が、他に諸々の原因があったにせよ、発動機出力に比べていまひとつ性能が振るわなかったのは、プロペラ直径の過少が大きく響いているとみてよい。

つまるところ、日本の官・民双方の航空技術者たちは、プロペラ効率に関し、真に理解していなかったのではないだろうか。VDMにしろ、ラチエ式にしろ、電気式ピッチ制御システムが精緻に過ぎ、こなしきれなかったのは基礎工業技術力の欠如以外の何ものでもない。なればこそ、軍側がこれを真摯に受け止め、もっと早い時期に民間メーカーを指導し、地道な研究、開発に取り組ませるべきであったろう。

独自開発の金属可変ピッチ・プロペラの不作は、そのまま日本航空技術史の負の一断面である。



ハミルトン式定速2枚プロペラを、一方を逆向きに2段重ねにした、陸軍二式単座戦闘機『鍾馗』の実験機。英語名で「Contra-Propeller」と呼ばれた2重反転式プロペラは、操縦上の弊害となるカウンター・トルク（プロペラ回転方向と逆方向に作用する力――機首が勝手に偏向する）を、互いに逆回転させて相殺しようとしたものだが、複雑な機構など技術的難度が高く、日本では普及しなかった。



零戦の初飛行から、わずか1年余という早い時期（1940年5月）に初飛行した、アメリカ海軍のボートF4Uコルセア艦上戦闘機。世界初の2000hp級エンジンP&W R-2800と、4.06メートルという空前の大直径ハミルトン・スタンダード3枚定速プロペラを装備したその威容は、日米の技術力の差をまざまざと知らしめる。

〈参考文献〉零戦、一式戦、二式複戦、雷電、紫電・紫電改、四式戦、各機体取扱説明書（陸軍、海軍航空本部）／『航空知識』各号（航空知識社）／『丸メカニック』No.7、8、9（潮書房）／『航空技術の全貌（上）』（原書房）／鈴木真二『飛行機物語』（中央公論新社）／出射忠明『飛行機メカニズム図鑑』（グランプリ出版）