

(米国のカーマン社で計画中のコレオプター)

### 新しい原理による垂直離昇機

# コレオプター

群馬大学工学部教授 山本峰雄

#### コレオプターの生い立ち

垂直離昇機の研究は、最近の航空工学の大きな課題であって、いわゆる転換式航空機のように、空中でヘリコプタから飛行機へ、或いはその逆に自由に転換し、離着陸はヘリコプタ、水平飛行は飛行機で行う方式から更に一歩進めて、ターボジェットの推力、またはターボプロップの牽引力などを用いて垂直離昇を行うVTO(垂直離昇機の略)から、さらに普通の飛行機の形態を持っているが、離着陸にはジェットフラップ

またはよるい戸型フラップを用いて、垂直または垂直に近い離昇を行うVTOが研究されはじめた。このようにして、将来の航空機はすべて、VTOになることも予想され、現在ジェット機運航上の大きな問題である飛行場滑走路を長くする悩みは、解消され得るのではないかと思わせるに至った。

このとき、一昨年から昨年にかけて戦後フランスに移住したドイツの航空技術者の一群によって、コレオプターと称するVTOが発表されたが、これが国際的に注目されるようにな

ったのは、偶然ではない。何となれば、ドイツこそ転換式航空機と、近年米国でVTOと命名された垂直離昇機の最も有力な発案者であり、研究者である人々を生んだ国であるからである。

コレオプター(Coleopter)は、その形が第1図の如く甲虫(カブトムシ)に似たところから名づけられたものである。これを発明したのは、パリにあるツポロウスキー技術事務所の所長H.フォン・ツポロウスキー氏である。彼は1905年オーストリアに生れ、グラーツ工科大学を出てドイツのミュンヘンにあるBMW航空機会社や、ブルンスウィック航空研究所を歴任し、戦時中は再びBMWでロケット機関の研究を行い、戦後フランスに渡って、反動推進研究会でロケット機関の研究を行ったのち、自ら技術事務所を開いて、コレオプターの研究を行っている人である。そして彼を助けて空気力学と構造力学を担当している二人の著名なドイツ人技術者が、この技術事務所で働いている。その一人はW.ザイボルト氏であり、他の一人はH.ヘルテル氏である。ザイボルト氏はスツットガルトで物理学と数学を修め、のちにツェッペリン研究所となったゲオルグ・マーデルンク教授の研究所に入り、戦後は仏海軍及び航空工廠で働いたのちツポロウスキーの事務所に入った。他の一人でコレオプターの環状主翼の構造を支持しているヘルテル教授は、ミュンヘン及びベルリン工科大学を卒業後、有名なドイツ航空研究所(DVL)に入って、構造力学部門の研究を担当し、のち1933年から第2次大戦の勃発した1939年まで、ハインケル飛行機会社の技師長をつとめ、世界速度記録を作ったハインケルHe100型戦闘機、ナチス空軍で最も多く使用されたHe111型爆撃機や、He176型ロケット機及び世界最初のジェット機He178型機などを設計した。ヘルテルは1939年から終戦までユンカース飛行機会社の技師長となり、ユンカースJu287型ジェット爆撃機を設計した。戦後、彼はフランスに渡り、S.N.C.A.S.E.

またこの垂直離昇機は、フランスの国立航空発動機研究及び製造会社(S.N.E.C.M.A)における垂直離昇機の研究題目として取り上げられているが、S.N.E.C.M.Aにはドイツ航空研究所及びB.M.W.発動機会社において、戦後その技術部長となったH.エストリヒ氏がいて、コレオプターの研究を、エンジン側から積極的に応援している。

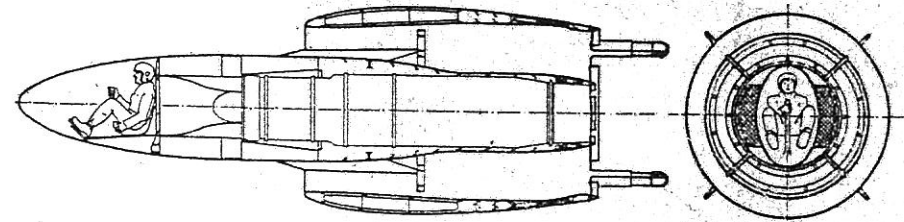
(国立南東航空機会社)のために、長距離高速旅客機を設計したのち、ツポロウスキーと一緒にコレオプターの設計を行うこととなった。ヘル

テルが、DVLで行った航空機構造の研究論文は、その当時の多くの人に読まれて、有名であるが、最近では1953年にドイツで発行されたハインケルの伝記の中に、ヘルテル教授の活躍はよく書記されている。このような立派なスタッフによって研究されたコレオプターは、故に単なる思いつきの発明といったものではなく、健全な工学的理論と計算によつての裏づけがある。この意味で、コレオプターは注目すべき垂直離昇機である。

またこの垂直離昇機は、フランスの国立航空発動機研究及び製造会社(S.N.E.C.M.A)における垂直離昇機の研究題目として取り上げられているが、S.N.E.C.M.Aにはドイツ航空研究所及びB.M.W.発動機会社において、戦後その技術部長となったH.エストリヒ氏がいて、コレオプターの研究を、エンジン側から積極的に応援している。

#### コレオプターの構造と原理

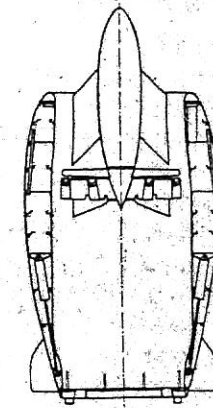
第1図はB.T.Z.(Bureau Technique Zforowski, すなわちツポロウスキー技術事務所の略)ブリューシュ(豆象虫)と呼ぶ軽地上攻撃機で、全長8.38m、直径2.09mという小型のコレオプターである。この図から判る如く、コレオプターの一つの形式は、普通の飛行機の胴体の如き形をした軸対称な流線形胴体の前端に、第1図の如く操縦席があり、後方にはターボジェットが入っている。ブリューシュの場合、このエンジンは再燃機(アフターバーナ)をつけたATAR101型ターボジェットが装着されている。そして、この胴体のまわりに環状の翼が取付けられて胴体との間に環状の隙間を作っている。そしてこの環状の隙間は、この



第1図 B.T.Z. ブリュージュ軽地上攻撃機

中には燃料噴射口やフレーム・ホルダーが取付けられ、例えば離昇や高速飛行の場合には、中央のターボジェットの推力の外に、この外側の巨大なラムジェットの推力を用いて高性能を出すことができる。例えば

ントを受けるのに対し、環状翼ではこのような曲げや振りは極めて小さく、またラムジェットの燃焼により環状翼の引張力も小さいので、主翼の重量は極めて小さいことと、尾翼がなく、胴体後部が短いことにより構造重量が全体として極めて小さいためである。ブリューシュの場合、構造重量は876kgに過ぎないと見積られている。これに対して、軍事有効搭載量は145.5kgである。



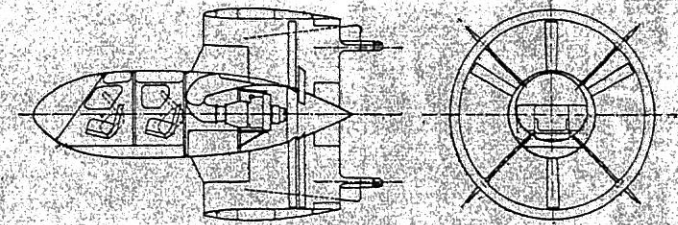
第2図 B.T.Z. オーグル誘導弾 (全長2.03m、直径0.95m)

第1図のブリューシュの場合、最高水平速度はターボジェットとラムジェットを併用して、1,448km/hに達する計算となっている。

このような高速を得ることができる他の一つの大きな原因は、普通の飛行機では、主翼は胴体から片持ち式に張出して、これによる揚力、大きな曲げモーメントと振りモーメ

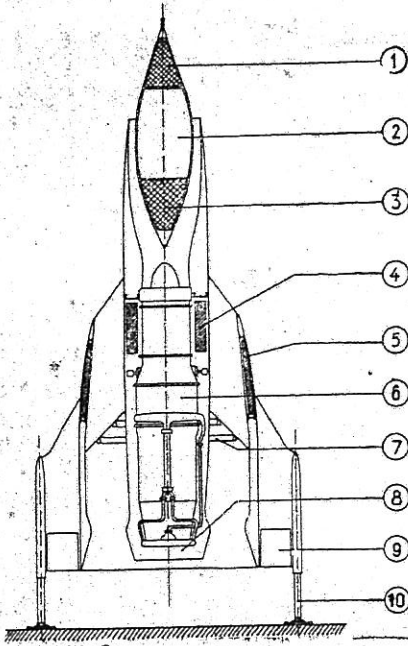
ントを受けるのに対し、環状翼ではこのような曲げや振りは極めて小さく、またラムジェットの燃焼により環状翼の引張力も小さいので、主翼の重量は極めて小さいことと、尾翼がなく、胴体後部が短いことにより構造重量が全体として極めて小さいためである。ブリューシュの場合、構造重量は876kgに過ぎないと見積られている。これに対して、軍事有効搭載量は145.5kgである。コレオプターは、離陸、着陸の際は、米国で作られたVTO戦闘機ロッキードXFV-1型や、コンヴェアXFY-1型ボゴの如く、頭部を上にして尾部の脚で上向きに地上に静止する。そして垂直に離陸したのち、方向を90°変化して水平飛行に移る。また着陸のときは、まず垂直上昇を行ったり、水平飛行中頭をあげて、空気ブレーキをかけて、尾部を下にしたのち、強力な推力で重量を支えながら垂直降下して、尾部から接地して地上に垂直に立つ。

コレオプターはまた、第2図の如き無人機の形式をとってもよい。第2図はB.T.Z. オーグル(食人鬼)と称する誘導弾であり、この場合はラムジェットとして853km/hの速度を出し、航続距離50kmである。このほか旅行機、輸送機、防空戦闘機などの計画もある。第3図は3座の高速旅行機B.T.Z. アントン(黄



第3図 B.T.Z. アントンII型3座旅行機(最大速度450km/h、航続距離1,000km)

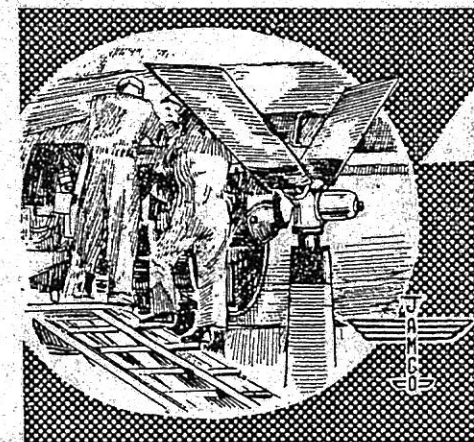




第4図 コレオプターの一般構造の例

- 1. レーダー、2. 操縦室、3. 附属機器、4,5. 燃料タンク、6. 再燃機付ターボジェット、7. ラムジェット機関のフレームホルダー、8. ジェット制御装置、9. 空気力学的操縦面（舵）10. 緩衝脚

は、中心線に対して軸対称に配置されている。この点につき、ツポロウスキー氏はコレオプターが理想的で、且つ経済的な形態であると主張する。すなわち、元来ターボジェット、ラムジェット操縦室や爆薬さえもすべて円筒状または環状の型態を採っている。主翼のみが従来の観念からいうと、円筒状でも環状でもない。この主翼を環状にして翼であると共に、ラムジェットの



種々な機体を作ることができる利点がある。

機体が空中を飛行するときの機体中心軸まわりの回転に対しては、大部分の飛行状態に於て環状翼の外側、または内側に幾枚かの縦びれをつけることによって、回転を防止できる。また特にラムジェットを使用する場合などは、ラムジェットの気流内に舵をおくことにより、回転を止めることが可能である。操舵には更に第4図の如き空力フラップを用いることもできる。

普通形式の飛行機との比較

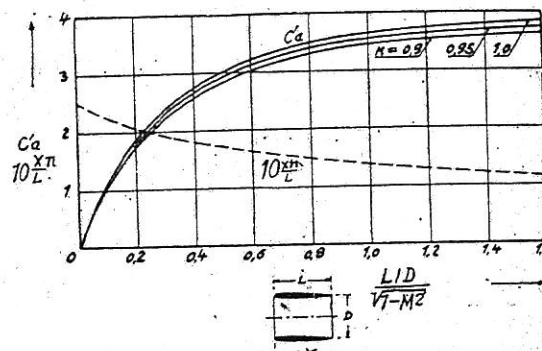
コレオプターの胴体と翼と

は、中心線に対して軸対称に配置されている。この点

つき、ツポロウスキー氏はコレオプターが理想的で、且つ経済的な形態であると主張する。すなわち、元来ターボジェット、ラムジェット操縦室や爆薬さえもすべて円筒状または環状の型態を採っている。主翼のみが従来の観念からいうと、円筒状でも環状でもない。この主翼を環状にして翼であると共に、ラムジェットの

環状翼の一部分とすることができれば、最も経済的な構造となることはいうまでもない。

次に、普通飛行機に用いられる主翼と同じ縦横比(アスペクトレシオ)を持つ環状翼の空気抵抗を比較すると、同じ揚力に対して環状翼の空気抵抗は直線翼の1.25倍であり、また胴体を入れて考えると、1.2倍となる。しかし同じ有効搭載量を持つコレオプターと飛行機とを比較すると、この関係は全く逆となる。例えば同じ揚力面積を持つ環状翼の重量は、直線翼の40%に過ぎない。また環状翼の中にプロペラを入れる第3図のような構造であると、プロペラが単独に存在する場合に比し、推力は少なくとも1.25倍となり、ここにも大きな利点がある。



第5図 環状翼の揚力係数の傾斜

ツポロウスキー氏は、種々な形式のコレオプターを設計して、設計的に普通形式の飛行機が、垂直離着陸ができるとした場合と比較したが、同じ有効搭載量の最優分布に対し、環状翼飛行機の有料荷重は普通の飛行機の有料荷重の1.35倍、搭載燃料の量は同じく1.35倍であるのに対し、構造重量は0.70倍となることを確めている。

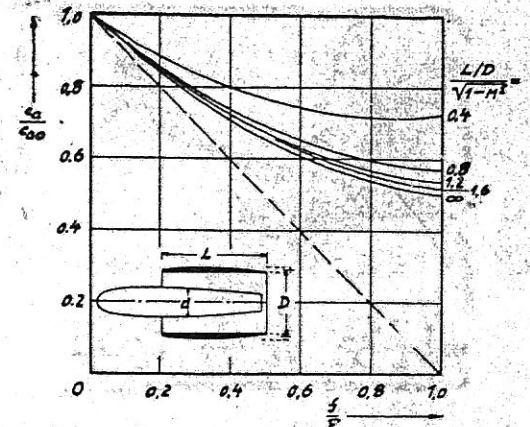
また同じように、搭載量が等しく主翼縦横比が同じである場合に、環状翼飛行機は全備重量は普通形式の飛行機全備重量の0.63倍であり、空気抵抗は0.78倍、燃料消費量は0.89倍であり、構造重量は0.46倍であることなどが判ってきている。

またツポロウスキーは、コレオプターと普通形飛行機の経済性につきその購入費と運航期間中の利子、修理、整備費を含む総費用と総燃料費の比率が種々な値をとる場合、各種の主翼縦横比の比率に対して計算を行い、コレオプターの経済性が、一般的に極めて優れていることを述べている。更に、コレオプターは言うまでもなく、普通の飛行機に比して、その機体によって占められる空間が小さいので、飛行場も極めて狭くて充分であり、現在の飛行場問題が解決できる。

コレオプターは以上のような長所があるので、現在では特に短時間高性能を発揮することを要求される機種に適合しているが、将来は超音速防空戦闘機、超音速艦上戦闘機、誘導弾、高速地上援護機などに適している。また前述の如く速度400~800 km/hで、航続距離2,000 km程度の高速度乗用機や連絡機、郵便機などにも適するし、ラムジェットの特性を利用してマッハ2程度の巡航速度の飛行機にも適すると、ツポロウスキーは主張している。

コレオプターの空気力学

このような環状翼を持つコレオプターの空気力学は、どんなものであろうか。これについては、前記ザイボルド博士が、このような環状翼やその中心にナセル(胴体)を持った場合につき、普通形飛行機と比較している。第5図は環状翼の揚力についての特性である。図に示したように、環状翼の進行方向の深さに対する中心部ではかっ直径Dの比、すなわちL/Dにマッハ数Mの影響を考えて補正する係数  $\frac{1}{\sqrt{1-M^2}}$  をか



第6図 環状翼とナセルとの組合せに対する揚力係数の変化

けた数を横軸にとり、縦軸に迎角αが零の場合の揚力係数Caの傾斜Ca'をとったもので、Caは、揚力をAとすると、 $A = C_a \frac{1}{2} \rho v^2 F$  である。但しρは空気密度 (kg・sec/m<sup>2</sup>)、vは空気速度 (m/sec) であり、 $F = \frac{\pi}{4} D^2$  (m<sup>2</sup>)

すなわち環状翼の前面面積である。また図に於て  $K = C'_{a0} / 2\pi$  であって、縦横比無限大の実際の翼の揚力係数の傾斜を理論的な傾斜  $2\pi$  で割った数で、これを空力効率といっている。翼の表面が理想に近く従って揚力が理想的に発生しているかどうかのめやすとなる数である。また、 $x_n/L$  (点線で書いた曲線) は翼の深さLに対し、空気力の作用点がある位置を示す係数である。この曲線からL/Dが1以上では、Ca'はほぼ一定となること、また、空気力の作用点すなわち風圧中心も一定の値に近くなること判る。大体前縁から12~14%の位置に、風圧中心が位置する。

第6図は環状翼の中心にナセルを入れた場合、揚力に及ぼす影響を示すもので、ナセルの最大断面積  $f = \frac{\pi}{4} d^2$  と環状翼の前面面積  $F = \frac{\pi}{4} D^2$  の比  $f/F = d^2/D^2$  を横軸にとり、縦軸にナセルを入れた場合の揚力係数Caと、ナセルのない場合の揚力係数Ca0との比をとってある。当然ではあるが、種々な  $d/D$  に対して、f/Fが大きくなると、すなわちナセルの直径が大きくなると、環状翼の揚力係数は急激に低くなる。

次に空気力学的に見た環状翼の長所は、次の如きものである。先づ第一に、コレオプターは空気力学的にも軸対称であるから、旋回をする

き横揺(ローリング)を行って旋回する必要はない。横揺速度を飛行機の運動性をはかる尺度としているが、この意味では運動性は極めてよいこととなる。

誘導弾は高速で空中を飛行するので、空気力学的な軸対称性が大切であり、このために工作も細心の注意が払われるが、設計としては十字翼を用いて、空力対称性を与えるのが常識となっている。しかしこのような方法は、空気抵抗と重量の増加を来して不利である。これに対して環状翼は、重量と空気抵抗が比較的少く、特に超音速ではナセルの形を適当にして衝撃波抵抗を減らすことができる。更に環状翼は振りの剛性が著しく高く、高速でフラッターを起すようなことはない。

コレオプターの将来

米国のVTO戦闘機を除いて、従来の多くのVTOや転換式航空機が発明家の着想程度のものが多いのに対して、コレオプターには最も科学的な基礎に立った研究が行われている点では、たしかに従来のものと異なる特質を持っており、しかし米国のVTO戦闘機とその着陸、離陸の原理が全く同じであり、離陸中のエンジン故障に対する致命的な危険という点が少しも解決していないことは、コレオプター及びこれと同じ原理のVTOの縮宿命な課題だろう。(図はInter Avia誌より)

**YANAGI**  
東洋一の設備と技術を誇る  
YANAGI

**日本航空整備株式会社**  
東京都大田区東京国際空港内  
電話 羽田(74) 1181-9