より実用的な飛行機への探求*

Grover Loening**

Loening 氏はコロンビア大学卒業後、O. Wright の助手となり、その後アメリカ陸軍航空部の最初の技師長を経て、1917 年 Loening 航空機会社を設立（後に Curtiss-Wright 社に合併）、最初の水陸両用機を作った。その後 NACA の主席コンサルタント、大統領航空対策委員会の研究関係主任委員などの要職を歴任し、現在は New York Airways 社、Grumman 社、Curtiss-Wright 社その他のコンサルタントとして活躍中である。本年 74 歳、航空関係の経歴は 53 年の由で、この間功績により各種のメダルやトロフィーを受賞している。

最近開かれた数多くの技術的な会合、特に 1963 年 6 月行なわれたパリ航空サロンは、その余波として、飛行機設計の将来に非常に重要な示唆に富む考え方を残した。

そこに展示された VTOL の開発および提示された新計画は、全くこのショーの主な見所であった。VTOL 戦闘機 Balzac の文句のないデモンストレーションは観衆の目をみはらせ、このショーにおける人気の中心であった。しかしドイツおよびイギリスから出された数多くの新計画およびアメリカからの若干の計画は、将来の設計傾向への強力な示唆を与えた。

本日のこの研究において、われわれは軍用の開発にまで十分立ち入ることは出来ない——また実際問題としてそう望みもしない。第 1 に、機密上の制限がこの解析を困難なものとする。第 2 に真に実用的な民間航空機の発展に向かおうとするならば、われわれは軍用のふんい気ならびに枠から離れ、実用的な飛行機の開発を待望しつつある龐大な民間航空の分野で、もっとたくましく生長しなければならないからである。

巨大な軍用航空機産業は継続するであろうが、しかし軍備縮小の脅威はいつもその頭上にかかっている。軍用機の生産は非常に複雑化し、特殊化し、そして要

求される価格分析と面倒な官庁手続きの下で極めて高価なものとなって来たので、この体系の中に安い民間航空機の生産を持ち込むことは全く困難なこととなった。したがって、自らの手で、飛行機を開発した暁には適正な価格で生産出来るような、より良く組織化された全く別の産業分野として、新しい民間航空機“空の自動車”産業の発展を期待した方がよさそうに思われる。以前には軍用機や軍用エンジンを改造して民間用にうまく使われるようにすることがむしろ容易であったが、そのような時代は既に過ぎ去った。騒音の高い軍用エンジンだけとり上げて民間用としては疑問がある。

“実用的な航空機”とは、5 人乗りのタクシーおよび個人用飛行機からすべての大きさの輸送機にまで亘る各種の飛行機を意味するが、それらは結局つぎのような極めて強い要請を満たさなくてはならない：

1. 騒音を許容限度まで引き下げる。
2. 購入および維持費を引き下げ、われわれの経済生長によって手の届くレベルにする。
3. 飛行機の世界速度を上げ、高速化することによってマイル当たりの費用を低減し（1 時間当たりの稼ぎ高を上げる）、そしてまた何よりも、もっと低い速度で飛べるようにする。このことによって普通程度に開けた場所からなら離着陸できるようにする。飛行場はいつでも使用できるけれども、しかし飛行場に拘束されないということは、民間航空の発展に非常に刺激となるであろう。
4. 以上のような改良が得られるならば、さらにわれわれはこの飛行機に空中で停止し、後進することが出来る能力を与えることによって、それを完全なものとするであろう。この改良は飛行機の使用に当たって気を重くさせる面倒、すなわち航空管制および航空法規に従わねばならない（霧の中や混雑したときに空中衝突を防ぎ、飛行場が塞がってしまうのをさけるのに必要である）という重荷から免れることを意味する。この特性は、空中停止および垂直離着陸能力からえられる恐らく最大の利得であるだろう。

* 本文は Loening 氏が昭和 38 年 8 月 19 日航空工業会および本学会主催の講演会で語られた “The Search for More Practical Aircraft” の講演原稿に、その後 Loening 氏が手を加えられたものを中口博が翻訳した。昭和 38 年 9 月 25 日原稿受理

** B. Sc., A.M.C.E., F.A.I.A.A., F.R.Ae.S.

あまり実用的でない1つの典型的な機種は、個人オーナー向けの小型機の市場であろう。アメリカにおけるこの機種の需要は年間6ないし7千機に止まっている。4ないし6座のこの種の飛行機の価格は、自動車の5ないし6倍である。Cessna, Beechcraft, Beagleなどの機体はたしかに200 mph 近い速度で巡航する。しかしこのような機体の多量生産は未だ本当に伸びて来ていない。いく度も町がら町へ飛ぶのは、たとえ200 mph で飛んでも(飛行場——都心間のタクシーに要する時間を加えなくてはならない)、自分のきれいな自動車で出発点から目的地まで平均50ないし70 mph で行くの比べて、莫大な金がかかり、またしばしば余計時間がかかったりもする。自分の自動車なら運賃無料で、立派な新しいハイウェイ沿いに行ける。この事実こそアメリカで年々自家用機の1千倍もの自動車を生産している理由である。アメリカには7千万台の自家用車と百万隻のヨットやモーターボートがあるが、飛べる飛行機は7万台しかない。

この点をはっきり認識した多く設計者たちはスーパーフラップによってSTOL特性を与えようと企てている。Helio, Dornier Do-27, および胴体前部にも昇降舵面を加えた面白い新Skylark(第1図)のように、高速巡航を犠牲にすることなく有用性を増そうというのである。この方法は、もちろん余計な費用がかかるが、小さい広場から行動できるために利用範囲が広がる。しかし悪天候時には空中に停止したりホバーしたりできず、依然として飛行場にかなり拘束されている。

第1図 Wren Aircraft Corp., Wren 460 Skylark. Cessna 180/182 を元として主翼、尾翼を改造し、前翼をつけたもの。Conti. 230HP $\times 1$, $W=1270$ kg, 着速 35 mph 以下という*。

美しい Grumman Gulfstream やもう少し小さい Aero Commander のようなもっと高価な社用機の部類には、少しは生長しつづける大企業としての特殊性を認めるが、それにしても、実際の市場が数機種のおおのについて年間平均50機というのでは、多量生産とはいえない。それらの生産生長は明らかに飛行機のも

ついくつもの制限によってじゃまされているのである。この種の飛行機は専門的で、飛行場向きに極度に発達した飛行機である。これらの飛行機は、それを使う企業体に大きな経済的価値を持っていることは確かだ、金持のオーナー個人に多くの便宜と同時に威信を与えている。

このグループにはまた数種の乗客数6ないし8人用のジェット社用機があつて、その多くはバリのサロンに出品されたが、価格は約百万ドルで、真の多量生産が可能な範囲からは全く遠い所にある。例としてSaber, Jet Star, Mystere, DH-125 および Hansa(第2図)が挙げられよう。この機種も大産業を作り出すような大きい市場を持たない。

第2図 Hamburger Flugzeugbau, HFB 320 Hansa. GE CJ610-1 $\times 2$, $W=8,000$ kg, $V_{cr}=510$ mph.

遠距離の大陸間および大陸横断航空路については、DC-8, Boeing 707, Comet, Britannia, TU-104 など現在のジェット機で十分なサービスが与えられている。

DC-3 がまかなって来たような短距離に対するもっと広汎な開発についていえば、300 mph 付近で巡航する双発ターボプロップの一群がある。たとえばF-27や日本で開発されたYS-11などである。これらは短距離の航空輸送用に使用されているが、この種類に期待されたような非常に大きい伸びを見せていないのは何故だろうか。その理由は、これらの機体があまりに高価であり、一方既に身近なものとなった高速ジェット機にくらべてあまりに遅く、しかもなお、都心から離れた大きい飛行場に着陸しなければならないので不便であり、都心間を直接結ぶ乗物より遅い結果になるからである。

これらに次いで、もう少し大きくそして著しく高速であるが、なお飛行場に拘束された新しい型の飛行機が開発されて来た。DH Trident(第3図), Boeing 727, Super Caravelle, BAC 111, および DC-9(第4図)などである。これらの飛行機のメーカーは、もしその機体が時代おくれにされる前に——VTOL機によ

* 図の説明は訳者。

第3図 De Havilland, DH 121 Trident.

第4図 Douglas, DC-9.

る可能性が一番大きい——200 ないし 300 機も売れば全く幸せとせねばならないであろう。この限られた市場に対して猛烈な競争が行なわれている。飛行場があり、高い費用が払えるならばこれらの機体も実用的であろうが、ただそれだけのことである。そしてこのような限られた生産は非常に有望とはいえない。

さて今や新しい種類が前面に押し出されて来た。STOL すなわち一方において相当な重量を搭載し、低いパワーでかなり高速に飛ぶことが出来ながら、一方で公共の飛行場からしか行動できないという制限を克服する新しい能力を持つことによって、その経済的能力を大きく広げた飛行機がそれである。STOL 機は離着陸や不時の着陸を、小さい面積でしかも多くの場合整備されていない土地で実施できなくてはならない。Do 27 および Helio のほかに、最も重要な新機種は Breguet 941 (第5図)、Pilatus Porter で、多分新三菱 MU-2 もそれにはいるであろう。

これら STOL は文句のないデモンストレーションを行なって見せた。大型輸送機では Breguet 941、小型機では Pilatus Porter の場合、非常に短距離の離陸は、Turbomeca ターボプロップのおかげで有効パワー

第5図 Breguet, 941.

が非常に増大したのと、巧みなフラップを装備した主翼の大きい揚力とによるのである。最も印象的なのはこれらが別の理由で非常に短い距離で着陸することであるが、それはピッチを急速逆転できるプロペラが機体を信ぜられないような短距離で停止させるからである(座席ベルトに相当の荷がかかるほどである)。しかしこれらの機体はなお空中でホバーしたり後進したりは出来ない。それらが前進への確乎たる1歩には違いないけれども。

このようにして結局、開発の方向は当然 VTOL に向かうわけである。VTOL は垂直に離着陸する飛行機で、VTOL 特性によって飛行機は空中で前進も出来また停止し後進もできる完全な乗物となるのである。

ヘリコプタはもちろん、今日この方向でリードしているが、ヘリコプタは製作にも保守にも金がかかりすぎる。それは主として複雑なロータ・ヘッドおよび大変量の軸系や歯車装置のせいで、これらはすべて危険な振動を受けるのである。後退側のブレードが失速し、一方前進側のブレードが超音速になるというための限界は、ヘリコプタを高速飛行させる上で困難をもたらす。といってもそれは決して絶望的な状態にあるわけではない。単にパワーを増大すること以外に、巡航速度を上げることがをねらいとする、注目すべき二、三の新しい開発が実際行なわれている。

A. タンデム・ロータ形式——たとえば小型の新しい Jovair (第6図)、Vertol V-107、および Chinook——は普通のヘリコプタより 10% 程度高速であるが、その理由は常に機軸に関して左右両側に前進側のブレードがあって釣り合いがとれるためで、同時に単ロータの“Vortex ring 状態”の危険が避けられる。

第6図 Jovair Corp., Jovair Sedan.
Franklin 210HP×1, W=1,050 kg.

B. Lockheed XH-51A (第7図) のような rigid rotor は同じ荷重の旧式ヘリコプタにくらべてほぼ 40% 速いが、その原因はマストが短く、ブレードのフラッピングがないことなどのためである。

第7図 Lockheed, XH-51.

Canadian P & W PT-6 500 shp×1, W=1,600 kg.
 $V_{\max}=185$ mph, 目標 202 mph という. 最近発表
 される写真はこの図と少し違っている.

C. 新しい Bölkow-Derschmidt (第8図) 方式は、
 ブレードに関節のある構造のために高速である.

D. ヘリコプタに直接的な推進用エンジンを導入
 し、同時に固定の翼面をつけてロータの荷重を若干軽
 減してやることによって、相当な高速化が図られる。
 その例は Piasecki 16H, Bell Wing Ding (第9図)、
 ソ連の Vintokryl, Sikorsky の数多くの計画, Roto-
 dyne, および Lockheed Hybrid (第10図, 前進飛行時
 ロータ・ブレードは機体前後軸の方向に向けられる)
 などである.

E. ヘリコプタの速度が 200 mph に近づくにつれ、
 機体の流線型化が重要視されるようになった。このこ

第8図 Bölkow-Derschmidt.

第9図 Bell, Wing Ding.

Bell 47G に翼をつけたもの. 原型の離陸重量 1,100
 kg を 1,800 kg 近くまで上げられるという.

第10図 Lockheed, Hybrid.

とはロータ・マストの傾きを可変とし、前進飛行中胴
 体を空気抵抗最小の水平姿勢になるようにする工夫に
 導いた.

このようにしてヘリコプタをより高速化し、よっ
 てより実用的なものにしようとする探究と努力には、な
 お大きなそして重要な発展の途が開かれているのであ
 って、それをあまり性急に諦めてしまってはならない.

ヘリコプタは他にも多くの非常に実用的な面を持っ
 ている. 特に Sikorsky の Sky Crane やソ連の MIL
 で実現されたように、荷物を経済的に空中に吊り上げ
 るという点は大きな特徴である. 今日のヘリコプタは
 Vertol V-107 がやっているように、遠い所から街の
 ビルの屋根の上まで荷物を運ぶという大きなビジネス
 の分野に辛うじて浸透し始めたのである.

低コストのヘリコプタへの歩みは tip-jet rotor の採
 用によって見込みが出て来た. これは製作費がずっと
 低廉で rigid rotor の構想と組み合わせると大変うま
 いことになるだろう. かくて、騒音が大きすぎず、ター
 ビン・エンジンの使用によって、話しになる程度に
 高速であるような、5座席の実用的な乗物へのわれわれ
 の探求が実現の見込みの強いものとなって来た.
 cold tip-jet 方式は Do-32 (第11図) で示されたよう
 に特に騒音が低い. このような開発は必ず現在の僅か
 な生産に比べてずっと大量の生産に進むに違いない.

しかし多くの設計者は、ヘリコプタの速度を 400 な

第11図 Dornier, Do-32.

いし 600 mph という望ましい値まで高める見込みがないと見ているので、水平飛行の方式からは多少とも独立した揚力方式をもついろいろな形式の飛行機に手を伸ばして来た。今日まで提案されたいろいろのものには、つぎのようなものがある。

1. Hiller-Vought-Ryan XC-142A (第12図) のようなティルト・ウィング方式。全備重量 40,000 lb, 有

第12図 Hiller-Vought-Ryan, XC-142A
三軍共同試作機。

料搭載量 8,000 lb, 航続距離 700 mile, 速度 350 mph のこの飛行機は、2,850 hp の GE T-64 4 発で、この 1, 2 カ月中に飛行することになっている。Hiller はすでに X-19 で類似の形態を試作し試験した。その前には Vertol 76 がこの構想に先鞭をつけた。有料搭載量は全備重量の 1/6, 複雑さとその費用は龐大で、操縦の問題は大変であるし、フラッタの問題も同様である。この飛行機は軍用として大きな価値はもっているけれども、その民間用としての将来はむずかしいように思われる。この形式は非常に騒音が高く、保守に金がかかり、残された問題が解決されるまでは実用性の低いものである。

2. ティルト・プロペラまたはティルト・ロータ形式がつぎの形態である。この形式は初め Bell XV-3 で開発され、今や 2, 3 の新しい設計、たとえば Weser WFG-P23 および最も有名な Curtiss-Wright X-19V (第13図) について研究されている。Curtiss-Wright

第13図 Curtiss-Wright, X-19.

は全備約 14,000 lb, 有料搭載量 4,000 lb, 航続距離 700 mile, 巡航速 400 mph で、2,650 hp の Lycoming T-55 2 基を装備している。4 ロータ形式は非常に有望である。ロータ (事実上は大きいプロペラ) は離陸時垂直におかれ、collective pitch の変化によって、ホバーおよび遷移飛行中 (苦勞する VTOL 領域) を通じて、完全な操縦パワを与えるであろう。しかし 4 個のプロペラに似たロータの disc loading は、ヘリコプタの 3 ないし 10 lb/ft² (14.6 kg/m² ないし 49 kg/m²) に対して 50 lb/ft² (244 kg/m²) に達する。したがってオートローテーションは問題外で、緊急着陸は翼面荷重 200 lb/ft² (980 kg/m²) の有翼飛行機と同様に行なわねばならないだろう。この場合の着速は約 150 mph となるであろう。——十分良好な飛行場なら完全に可能であるが、かくて双発形式によってこの飛行機はますます安全な飛行機となるのである。

3. 純粋のティルト・ロータ形式にいくらか似たものは、Bell の新しい XV-22 (第14図) のように、ダクト・プロペラを装備した翼を串型に配置し、これをティルトする型態 (wing-tilt ducted propeller) である。ダクトの大きな面積は馬鹿らしく見えるが、しかし相当な揚力を与えるのに役立つし、またもちろんある状態ではプロペラの効率を大いに改善する。この形式は、現在の初期段階のものについていうと、別に何も簡単にもならないし、製造費も安くならず、操縦上の複雑さもへるわけでもない。騒音が少なくなることもない。しかし航空母艦に使うというような特別の用途には、非常に小型に設計できる長所がある。

第14図 Bell, XV-22.

4. ジェットを直接的な揚力と推力の両方に兼用する方法は、Bristol-Siddeley Pegasus をつけた Hawker 1127において大いに進歩した。このエンジンは推力自身が垂直から水平まで回転できる推力回転 (vectored thrust) 機構を備えている。この実体はターボファンであって、前方 2 個のノズルにはファンから、後方 2 個のノズルにはガス・ゼネレータからの流れが来る。離陸および遷移飛行時の操縦は主燃焼器から抽気され、

たガスを小さい高圧ノズルに導いて、その推力を用いて行なう。この形態の飛行機は、優秀性を実証したけれども、民間用としては多くの欠点をもっている。リフトジェットの吹き出しは普通の地面に対してはあまりに強烈で、また騒音が大きすぎる。揚力と推力を同一のエンジンでえようとするので、前進飛行中の燃費の点で効率が悪い。

5. ジェット VTOL のも1つの形態は、揚力と推力とに別々のエンジンをもつものである。この形態はまず Short SC-1、つぎにすばらしい成功を収めた Balzac V Dassault 戦闘機で代表される。後者は 600 mph の高速戦闘機で、前進飛行用に推力 5,000 lb の Bristol-Siddeley 1 基と、全く独立に Rolls-Royce RV-108 8 基を装備していて、後者は離着陸時だけ働く。リフトジェットはこの飛行機の 15,000 ないし 16,000 lb の重量を全く易々と浮揚させる。ドイツの新しい VJ-101C (第15図) は、推力 3,600 lb の Rolls-Royce 145 6 基を装備し、2 基ずつを1個のポッドに収めて両翼端に、残りの 2 個を胴体内操縦者の背後に装備する。18,000 lb の全備重量を浮揚させるには6基全部を用い、前進飛行中は2個の胴体内エンジンと、さらに翼端エンジンのうちの1個ずつまでも停止して、燃

第15図 Entwicklungsring-Sud, VJ-101C.

料消費率をずっと経済的にすることができる。パリのサロンに現われた他の提案は、Armstrong Whitworth 社から AW 681 として出されたもので、BS-53 推力回転型エンジンまたは Rolls-Royce リフト・ジェットを4個のポッドに収めるものである。この形式は民間用としては、Hawker と同様に、高価なこと、耳を聳する騒音、および特別な着陸用マットを必要とするほど激しい排気の吹き出し、という3つの欠点をもっている。

6. ジェット VTOL の1つの変形として、Lockheed

第16図 Lockheed, VZ-10 Hummingbird.

第17図 Lockheed, VZ-10 Hummingbird
エゼクタ装置.

Hummingbird がある(第16図)。この機体ではエゼクタの原理を応用して、ジェットの空気量をまし排気速度を下げ、騒音をかなり減らすようになっている(第17図)。Hummingbird ではダクト系を配置することにより、ガス・ゼネレータの流れはノズルから吹き出し、多量の空気を誘導して下向きの流れを作り、そしてバルブの操作によって同じガス・ゼネレータの流れが曲げられて推力にもなる。この機体は推力 3,000 lb の JT-12 2 基を用い全備重量は 7,200 lb である。この test-bed 機は非常に有望な開発段階にあり、エゼクタ式推力増加装置のためにジェット推力を自身の約3倍に高める性能を示した。

7. ジェット駆動 VTOL の中で恐らく最も有望と思われるものは、Ryan と General Electric との共同開発による XV-5A リフト・ファン機である(第18, 19図)。全備 12,000 lb のこの機体は垂直離着陸のほ

第18図 Ryan, XV-5A.
GE と Ryan の共同開発.

第 19 図 Ryan, XV-5A, ファンおよびダクト配置。

か、615 mph の高速をうるはずである。30 ft の翼幅の主翼の両側に直径 6 ft のファンが埋め込まれ、制御弁を通してファンの外周にあるカップに導かれたガス流がタービンを介してファンを駆動する。上昇が終わるとファンの流れがその下の傾斜した導風板によって曲げられ、遷移飛行が行なわれる。前進飛行時には、ガス・ゼネレータからの流れが弁によってファンには行かず、直接的にジェット推力を発生する。この方式は驚くほど効率がよいことが証明された。騒音はまだ十分低いとはいえないが、ファン下方における排気速度は約 380 fps にしか過ぎない。胴体前方にピッチ制御用の第3のファンを装備することによって、浮揚から遷移の全飛行状態を通じて、大きいパワーをもつ完全な操縦がえられた。この方式では揚力の損失が全くない。そのわけは機首のファンがいつも 900 lb の揚力を出しているからで、機体の重心が2個の主ファンの揚力中心を結ぶ線より若干前方にあるので、事実上は3ファン方式になっているからである。翼に埋め込まれたファンの上下の偏向板を閉じると、機体の形態は非常に高速のジェット機のそれになる。この機体はもちろん軍用を背景として開発されて来たものであるが、一方において民間用への応用も非常に有望である。

新しい設計傾向から学びとるべき事柄を総括する前に、いたる処へ通ずる広大な空路を実用的に使用するため試みられつつある、2, 3 の大胆で、ある場合大きな成功を収めた特殊な例を一瞥しておこう。

ヨーロッパで輝かしい成功を収めたものに新しい車輛運搬機があって、大量の実際のビジネスを行なっている(第20図)。またいろいろな方法での薬剤撒布に今や高度に開拓された農業用機がある。Grumman Agcat がその例で、今日世界の各地でこの2カ年間にほぼ300機が実際のサービスに加えられた。

第 20 図 Aviation Trader, ATL-98 Carvail.

第 21 図 Loening 水陸両用機

飛行機の実用的な使用について話るとき、われわれは水陸両用機のことを忘れてしまっているように見られる。25 年前私はニューヨーク市の真中の31番街の近くにLoening水陸飛行場を持って、完全に実際のビジネスを営んでいた(第21図)。そのような昔、私は騒音のため近所から苦情が出ないようにするため、消音器の重要性を認識していた。その機体に使ったものは非常にうまく働いた。

ここで述べた展望を通じて、最も重要な事柄はリフト・ジェットの出現である。すなわち最新型のRolls-Royceの設計になるRB-162では、275 lbの重量および数分間の燃料の重量で5,000 lbの推力を与える。このエンジン3基を使えば、僅々約1,000 lbの追加重量で12,000 lbの飛行機を浮揚させることができる。追加重量の半分は降着装置の簡易化によって回収できるだろう。

最後に、フランスとイギリスとの共同開発による超音速機Concordeは、現在の設計では、すでに時代おくれで、真に実用的ではないといえる。それはリフト・エンジンを装備していないからである。

Concordeのようにマッハ2の飛行機は多分長距離の大陸間航空路に使い途があるのだろうが、このようなスピードマニアをもっと短い距離、たとえば東京・札幌間約600 mileに使った場合を考えてみよう。Concordeの飛行時間は約30分であるが、都心からそれぞれ約1時間離れた飛行場に発着するから、合計約2時間半の旅行になる。そうすれば、両都心にある屋上や発着場から垂直に離着陸できれば、巡航速が僅か250 mph でしかないような飛行機でも所要時間はちょ

うど同じになる。

さてここに行なった航空機のスペクトラムの進展に関する展望を通じて、われわれは現在使われているものよりも遙かに実用的な飛行機の可能性を与える新しい方向があることを見たのである。STOLは不完全な解答であり、すべての VTOL は幾つかの欠陥——あまりに低速であったり、排気の吹き出しがあまりに激しかったり、騒音が強すぎたり、あるいはあまりに複雑、高価であったり——を持つことを指摘した。将来誰か聡明な設計者が、各方式の長所を総合して1つの

機体にまとめるであろう。かくてわれわれは最終的な航空機を持つことになり、歴大な生産事業が営まれることになる。その機体は5座席以上で、垂直に、しかし静粛に離昇し、完全な操縦の下にホバーし、少なくとも 400 mph 以上の速度で目的地に飛行するものとなるだろう。

今日における軍用航空兵力のヒステリカルな競争は終わり、むしろ減少するとしても、上述の“空の自動車”時代は、われわれの考えているより早く訪れるかも知れない。

超音速圧縮機*

(その動向と将来性)

山口 誉 起**

1. ま え が き

超音速圧縮機とは動翼または静翼に対する気流の流入速度が翼のスパン方向にすべての部分で超音速であるような圧縮機をいう。翼のスパン方向の一部分のみが超音速であるようなものは遷音速圧縮機とよばれ、超音速圧縮機とは区別される。周知のように、従来の軸流圧縮機の設計では翼に対する気流の速度が音速近くに達すると効率が急に低下するので、流入速度はつねに臨界マッハ数(普通の翼形ではマッハ数 0.7~0.8 ぐらい)によってその最大値が押さえられ、そのため段当たり得られる圧力比は 1.2 ぐらいが限度である。したがって所定の圧力比、流量を得るためには段数を多くし、また圧縮機の直径寸法を増大しなければならない。しかし、流入速度が超音速であっても効率のよい段落を設計できれば、圧縮段数は少なくすみ直径寸法も縮小できるので、重量の軽減、前面面積の縮小と相俟ってこのような圧縮機はとくに航空原動機用としてきわめて有望なものとなる。そこで戦後いち早く NACA (現在の NASA) において組織的な研究が開始され、その研究は 10 年間に及んだが、超音速流を亜音速に効率よく減速させるような翼形が開発されず、ついに完成を見ないまま現在に至っている。しかし、この試作研究の段階において、試作機はいずれも設計回転数以下で翼が遷音速で作動するような回転数では比較的効率よく作動することが判明し、遷音速圧縮機の発達を促した。そして今日では遷音速圧縮機は

漸く実用の段階に入り、段当たり圧力比 1.2~1.4 が得られている。このように超音速圧縮機は結果的にはまだ実用の域に達していないけれども、試験段階においてきわめて優秀な性能を示した圧縮機もあり、種々の問題点を克服していけば将来の発展もきわめて有望であろうと考えられる。このような観点からまず過去の研究経過を概観し、超音速圧縮機設計の諸問題を解説してみる。

2. 超音速圧縮機研究の歴史¹⁾

超音速圧縮機はまず最初 1936 年にドイツの Weise によって特許がとられ、彼および Encke によって 1944 年までに 3 回実験がなされたが、性能は予期したものよりはるかに低く、また試作機は高速回転のためいずれも破損し、このような機械的な問題が障害となって研究は中断された²⁾。その後 1941 年にアメリカの Redding が実験を行なったが性能が悪く、有利な点が認められなかったので研究を中止した。

本格的な研究が開始されたのは 1942 年以降であり、NACA の Kantrowitz が超音速圧縮機に関する種々の可能性について議論した論文³⁾ がもとになって、NACA で組織的な研究が始められるようになった。この研究はまず NACA の Langley 研究所において始められ、フレオン-12 を用いた試作機が実験された。フレオン-12 を用いたのはフレオンの音速が空気にくらべてかなり低いので強度上の問題が軽減されるからである。このとき得られた結果は必ずしも成功したものであるとはいえなかったけれども、研究開発を継続させる勇気を与えるに十分なものであり、つぎに空気

* 昭和 38 年 8 月 19 日原稿受理

** 名古屋大学工学部