

## 〈展望〉 航空機の趨勢

久保 富夫\*

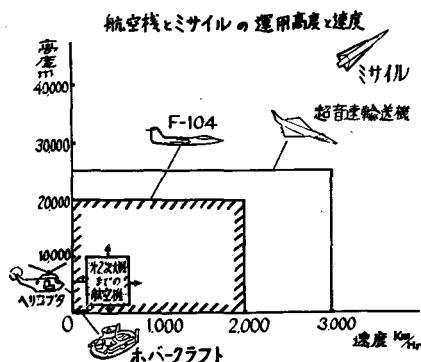
本日より要求によりまして、航空機の趨勢と OR という題でお話をいたします。私は元来航空機の設計出身でありまして、OR に関してはあまり自信がございませんので、所内の OR 専門家に意見を聞きまして、以下お話をしてみたいと思います。

まず航空機の趨勢の概略についてお話をいたしたい所存でございますが、通俗講演のつもりで気楽に聞いていただければけっこうと思います。

最初にわれわれが航空機をどのように考えて現在研究や生産をやっているかということについて、簡単に申し上げます。

ご承知のように航空機は一種の交通機関、輸送機関でございます。戦後ミサイルとか、ロケットが非常に発達いたしましたので、ややもすると航空機の価値が失われたような論議がさかんに行なわれました。しかしこれは航空機を軍用という使用目的に限って議論するとき成立つ議論でありまして、本来の航空機の輸送機関、あるいは交通機関としての価値はますます大きくなりつつあるのではないかと考えてます。むしろ軍用の面でミサイルとか、ロケットの比重が非常に大きくなった関係で航空機は本来の輸送機関、交通機関としての使命への研究がますますさかんになったというふうにも考えられます。

そういう考えに立って、これからお話し申し上げますが、最初に航空機の使用される速度と高度に関して少し観察してみたいと思います。



この絵には、横軸に飛行機の使用速度をとり、縦軸に飛行機の使用高度がとってございます。第二次大戦まで使われた航空機の使用速度と使用高度は大体この左下隅にチェックしてある範囲

\* 新三菱重工業株式会社名古屋航空機製作所 昭和36年11月5日特別講演

になると思います。

速度はプロペラを使う関係上、音速以上に上げることができないという制約がございます。いわゆる音の障壁によって、大体 600 km/h ぐらいが限度でありました。遅い方は失速速度という制限がございます。あまり遅い速度で飛ばせば、飛行機は定常飛行ができませんので、ここにもひとつの制限がありました。

それから高度の方では、エンジンが航空機の必要とする十分な馬力が出せない関係上、大体最高 1 万 m 前後に制限されておりました。低い方も小型航空機その他で 500 m 前後、普通はそれ以上の高度で飛行し、あまり低いところを飛ぶことは危険であるというので、速度並びに高度領域に関しては、ある狭い範囲で使用されていたわけです。

ところが戦後航空機用原動機として、ジェット・エンジンの導入があり、又新しい超音速の航空力学の研究と相まって、航空機の速度は非常に進歩いたしました。現在のご承知のように旅客機でもほとんど 900 km/h、1000 km/h の運行速度で飛んでおります。軍用機になりますとさらに 2000 km/h の速度、即ち音速の 2 倍以上の速度で飛行することができます。従って速度領域において非常に伸びてきたということになります。近い将来日本で作られるであろう戦闘機 F-104 J の実例が書いてございますが、この飛行機もおおよそ時速 2000 km/h という所であります。

元来飛行機本来の目的は速いスピードで飛ぶということでありましたが、今日では速い方だけが使命でなく、大空の交通路を使って、もっと遅い速度で自由に飛ぶという航空機も発達してまいりました。一例として皆さんご承知のヘリコプターの導入によって、遅い方へも速度領域が広がってきております。ここには空中速度 0 という線が引いてございますが、現実にはヘリコプターはマイナスのスピードでうしろ向きにも飛べるのであります。実用上必要がないので現実には使われませんが、そして実用的には、海難救助、山岳遭難あるいはその他の災害救助に、一定の地上あるいは海上もしくは山岳の相当高いところに空中停止して救助作業を行なうというような実用域があります。要するに速度は遅い方への広がりをもってきたということになります。

高い方は高速と結びつきまして、空気の密度が低いところで飛ぶことが、速度を上げるひとつの条件にもなりますのと、航空発動機の重量あたりの出力が非常に増大したので、現在は 2 万 m あるいはそれ以上の高度を飛ぶことができるようになりました。

なお、最近皆さんもご承知のホバークラフトというのは、地上すれすれの高度を飛行する新しい交通機関であります。こういうものの研究と実用によって低い方へも広がってきている。従って現在実用になりつつある速度領域は 0 から 2000 km/h、高度は 0 から 2 万 m というように戦前の航空機に比較して、非常に領域が広がっております。

更に現在研究されつつありますのは、速度に関してはマッハ 3 即ち音速の 3 倍の軍用機もしくは旅客機、これに伴い飛行高度も高くなり、2 万 5000 m あるいは 3 万 m というような高度の飛行が研究されておりますので、速度高度領域において航空機の使用される範囲は将来さらに拡大されるものと思います。要するに航空機の速度並びに高度領域が非常に広がり、航空機は将来ま

すまずわれわれが希望する高度を希望する速度で飛行できるようになるのではないかと考えます。

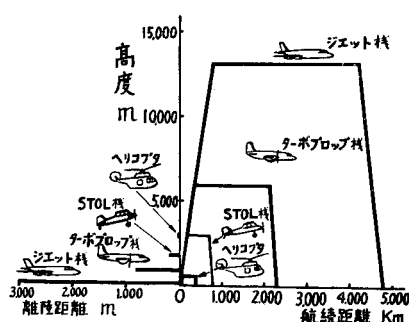
このような方向に向かって、現在の研究の中心問題を 2, 3 の例について申し上げます。まず第一は、従来から航空機研究の主目標であった速度の向上という点について申し上げます。

先ほど申し上げましたように、現在の軍用機はすでに音速の 2 倍で飛行しておりますが、この領域まではあまり熱の影響——航空機を速度を上げるうえにおける第一の障害は音の障壁でございましたが、第二の障壁は熱の障壁といわれる、非常に高速飛行の場合に発生する機体表面の高熱の問題であります。

速度を現在の音速の 2 倍から更に 3 倍に上げるためには、この熱の障壁を克服しなければならぬので、耐熱合金とか、高温に耐える各種の構造法、あるいは機体外部が高温状態にあるとき、内部にある人間とか器機が満足に作用するためのエアークонденシヨニングその他の研究が、盛んに行われております。これは音速の 3 倍を実用にするという、従来の速度向上の方向が矢張りひとつの研究の方向であります。飛行機が仮りに音速の 3 倍、時速 3000 km で飛ぶようになりますと、地球上の半周にあたる東京～ロンドン、もしくは東京～ニューヨーク間を大体 3 時間で飛行しますので、実用的には、音速の 3 倍以上の速度は地球上ではいらぬのではないかと考えております。従って現在は音速の 3 倍、もしくは 3 倍半という速度が航空機の研究対象になっているわけです。

次に航空機の研究対象となっている主なものは、いわゆる VTOL もしくは STOL、といわれる、滑走しないで垂直上昇できる航空機、もしくは滑走しないで着陸できる航空機の研究ということになると思います。現在この意味で、完全に実用の域に達しているのは、皆さんご承知のヘリコプターであります。ヘリコプターは、特に広い飛行場を必要としないで、地上から直ちに空中に浮揚することができます。

航空機の飛行経路



ここに各種の航空機が離陸してから飛行し、着陸するまでの経路の絵が書いてございますが、現在のジェット旅客機は大体 3000 m の滑走路を必要とし、それから 1 万 m 前後の高度に上昇する。ここを巡航しまして降下し着陸するが、再び離陸距離に匹敵するような長い滑走距離を要します。これに対して従来のプロペラ機は地上における静止推力がジェット・エンジンに比べて

非常に大きいので、少ない滑走距離で滑走し離陸してジェット機よりも低い高度を飛び、又ジェット機よりも少ない滑走距離で着陸するということになります。

日本のような狭い国土のみならず欧米においても飛行場問題というのはしばしば問題を提供しますので、なんとかしてこれを短い飛行場即ち短い離着陸距離におきかえたいという研究は従来から続けられているところではありますが、比較的短い、たとえば 500 m 以内一極端にはもっと短いものもありますが一相対的に非常に短い離陸着陸距離で離着陸できる飛行機、それを SHORT TAKE OFF 機、即ち STOL 機と呼んでおります。あるいは STOL 機を 1 足飛びに飛び越して、ヘリコプターのように、直接滑走しないで浮揚するという飛行機を VERTICAL TAKE OFF 機、即ち VTOL 機と呼んでおります。何れも滑走距離がずっと短くなっております。この種の VTOL 機もしくは STOL 機の研究というのが、やはり現在研究の主題目になっております。現在実用になっている VTOL 機はヘリコプターであって、即ち滑走路を必要としない航空機の 1 種類でございます。しかしヘリコプターはそういう特徴がある反面、空中速度が非常に遅いとか、搭載量が少ないとか、長距離を飛行することができないとか、飛行中の経済性が普通の飛行機に比べて悪いというような、各種の欠点をもっております。

もちろんヘリコプターも、現在のピストン・エンジンから、タービン・エンジンにおきかえることによって、非常に性能が向上し、安全性が向上し、経済性が向上しているわけでありまして。いうまでもなくガスタービン・エンジンはピストン・エンジンに比べまして、容積あるいは重量あたりの出力が非常に大きいので、この特徴を生かし、ただいま申し上げたような経済性とか、速度とか、あるいは航続距離というものが非常に改善されるわけでありまして、なんといっても普通の固定翼航空機に比べて、経済性が非常に劣るという欠点がございます。

ところが一方において最近非常に重量あたり、及び容積あたり、高出力のエンジン—主としてガスタービンでございますが一高出力のエンジンが研究され実用になってきた。これを利用して別の方法による VTOL 機の研究がさかんに進められているのであります。

普通の飛行機は大体揚力と抵抗の比が飛行機全体として 15 倍ぐらいになっております。つまり比較的少ない馬力で、空中を飛行することができる。

ところが速度を上げるためにはだんだんエンジンの馬力を上げなければならない。そして音速の 2 倍ぐらいの速度で飛ぶためには、大体飛行機の重量と馬力とが同じぐらいの大きさになる。

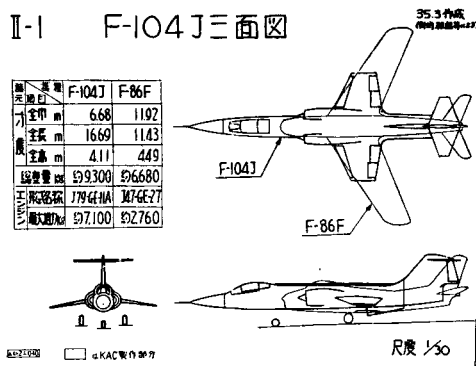
たとえば先ほど申し上げました F-104 という音速の 2 倍の速度で飛ぶ航空機は全備重量が 9 トンぐらいございまして、エンジン・スラストが大体 8 トンぐらいでございます。そこでもう少しエンジン馬力を上げれば、発動機のスラストを向けることによって、機体を持ち上げることができるわけです。そういうことを、更に同じ方向に推し進めて行きますと、仮りに音速の 3 倍ぐらいで飛行する機体のことを考えてみますと、機体の重量よりもエンジンの出すスラストの方が大きいということになります。つまり、もしエンジンをうしろ向きでなくて、上向きに使った場合は、機体全体を地上に持ち上げることができるということになります。

これは単純に馬力と重量との関係で申し上げたのですが、これに翼のような空気力学的な研究結果をおりませますと、必ずしも重量よりも馬力が大きくななくても、垂直に飛行機を持ち上げることができるというようなことができます。従ってヘリコプターのような方法と違う別種の方法で飛行機を垂直に離陸させるという研究が、いろいろの方法で実現性を加えてきたといえます。

ついでに申し上げますと、現在のロケット及びミサイルは完全に推力が重量よりも大きいという一種の飛翔体でございまして、普通地上を離れるときには重量の15倍とか20倍とかいうスラストをもって発進します。これと同じような傾向の現象が航空機にも取り入れられようとしているといえます。

要するに非常に速度を速い方向へもって行こうということと同時に、飛行場のいらぬ航空機にしようというのが、もうひとつの大きな研究題目であります。

ここにはそういうふたつの方向一速度の向上と垂直離着陸一への実例を書いてあるわけがございます。なお参考として、現在日本の防衛庁で使用されているF-86ジェット機の最高速度が



音速付近で飛ぶ航空機の平面図及び側面図が書いてございます。これに対して次に日本の防衛庁で使用になるF-104という音速の2倍で飛行するジェット戦闘機の絵が書いてございますが、これを比較してみますとF-86は重量がF-104よりも小さいにもかかわらず主翼が大きい。これに対してF-104は非常に小さな主翼で横から見まして非常に薄い主翼をもっております。

VTOLの分類表

Propulsion Conversion Options	I Rotor	II Propeller	III Ducted fan	IV Turbo jet
I Dual propulsion				
2 Thrust tilting				
Thrust deflection				
3 Aircraft tilting				

このことは非常に速度は速くなるけれども、特別の工夫をこらさない限り離陸速度、着陸速度、離陸着陸滑走距離が非常に大きくなることを示しております。

ここにはただいまお話しいたしました、垂直上昇機 VTOL 機の各種のモデルが実例として写真であげられております。ただいまは固定翼とエンジンのスラストによって空中に持ち上げるという極端の場合をお話ししましたが、ここには皆さんご承知のコンパウンド・ヘリコプターとか、相当大きなプロペラをつけて、上昇する場合は上向きに、前進するときは横向きにするという別種の飛行機とか、あるいは主翼ごと垂直上昇するときは上向きにし、水面飛行するときは横向きにするというような飛行機、あるいは上昇するときには垂直に立って徐々に機体の姿勢をかえて行くものとかあるいは翼の中に一種のプロペラダクトドファンとっておりますが—こういうプロペラを装備して垂直上昇して水平飛行に移るといったものとか、あるいは先ほど申し上げましたように、ジェット・エンジンのスラストを飛行機の重量よりもさらに大きいものにして、直接上方に上がるという飛行機、あるいはこれに翼理論を組合わせて、飛行機は水平姿勢のままスラストの向きを下向きにして垂直に上がって空中に上がってからスラストを水平にして飛ぶというような形式の飛行機とか、いろいろの VTOL 研究機の実例がかいてあります。

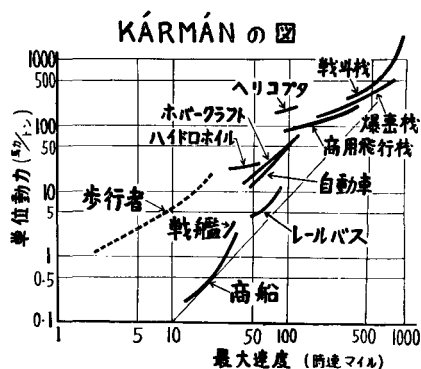
これで大体現在の航空機の研究に関するふたつの大きな方向を申し上げました。その他にもいろいろのことがあります省略し、具体的な例で新しい航空機の 2, 3 につき申し上げて見ます。

まずヘリコプターの傾向であります。ヘリコプターは先ほどもご説明いたしました。現在実用になっている唯一の VTOL 機でございまして、飛行場を必要としない飛行機である。しかしながらこれには経済性とか、航続距離とか、スピードの点で、固定翼航空機に大分劣るという欠点もございまして。

しかし従来のピストン・エンジンに比べ、パワー・ウェイトレシオが非常に大きい。またパワーと容積比が非常に大きいガスタービンの導入によって、その性能は非常によくなりました。それで経済性も上がり、速度も上がり、搭載量、すべての性能が非常によくなり、安全性もよくなってまいりました。なおヘリコプターの機体側としても、速度を上げる研究とか、航空距離を上げる研究がガスタービンとの組合わせによって更に進められております。

次に従来の飛行機よりも非常に低い高度で飛ぶ航空機の研究—これを航空機といった方がいいのか、自動車の変型といった方がいいかわかりませんが—地面効果を利用した航空機、地上すれすれに飛行する航空機として、先ほどホバークラフトというのを申し上げたのですが、これに関連して、ここに有名なカルマン教授が考案されたカーブがあります。横軸に交通機関の実際の速度が時間あたりマイルで書いてございます。縦軸にその速度で走るために必要な馬力で全重量を割ったものが書いてございます。

このカーブをごらんになった方もあるかと思いますが、人間とか軍艦とか、商船とかバスとか自動車とか、飛行機、爆撃機、ヘリコプターというようなものが例にとってあります。ある速度で走るのに、おおざっぱに言って重量あたりの馬力が少ないほど有利だからカーブが下るほど、有



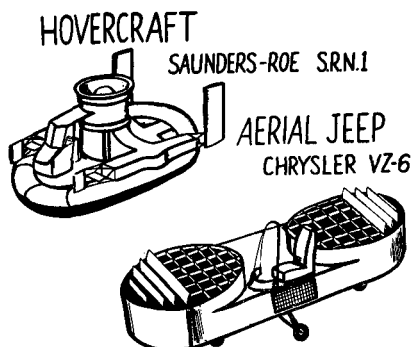
効な、効率のいい交通機関、あるいは輸送機関ということがいえます。このカーブは統計的に出したものでありますが一番下に切線が引いてあります。この切線に近いなるべく低い値の交通機関がいいということになりますと、速度によってそれぞれ効率のいい交通機関というものがかわっていくわけです。

人間は非常に遅い速度で移動する輸送機関と考えるとこの辺になる。この絵を見てみますと、速度の遅いところに船その他があり、それよりやや速くなると自動車とか、バス、さらに速くなると飛行機というふうになります。ところが速度 100 マイル前後のところ、適当な交通機関が現在のところ見当らないように見えます。

そこで現在研究されている、水上の hidrofoil 艇とかたまたま申し上げましたホバークラフトという新しい交通機関、輸送機関の領域がこの辺になるのではないかと、統計的な見方があるわけでございます。このホバークラフトというのはそう速い輸送機関ではないけれども、時速 100 マイル前後に割合効率のいい輸送が出来得るのではないかと、ことを目標に研究されております。

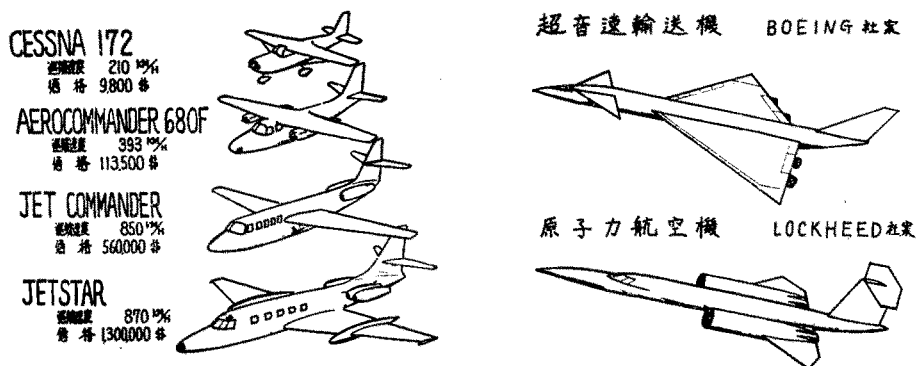
次にこれよりやや高い高度 500 m とか 1000 m とかいう高度を飛行もするし、また地上を自動車のように走ることもできるという新しい航空機があります。

ここに書いてありますのは米国クライスラー社で作った、地上では自動車のように走り、空中ではあまり高くないところ、ただし道がないところ、海の上、河の上を走る目的で、地上空中両用に使用出来る航空機です。これには空飛ぶジープという名前がついております。ホバークラフ



トは非常に低いところ、フライイングジープそれよりもやや高いところを飛ぶ航空機で目下研究中であります。

次に、主としてアメリカに始まったことでありますが、自家用飛行機が、急速に伸びつつあります。ご承知のように、日本では戦後非常に物資欠乏の時代でも、大会社の重役とか、官庁の幹部は非常に立派な自動車を実用していたのでありますが、これは決してぜいたくのためではなく、幹部活動を能率的にするため絶対必要なものと考えられていたわけです。ところがその後幹部のみならず、従業員が用をはたすには、自動車を使わなければ仕事にならないというような時代になり、それがさらに進んで今日では一般従業員もできれば自家用自動車を使わなければ、能率が上がらないという時代になってきております。今日のアメリカにおいては自家用飛行機の使用が、これとまったく同じ経路をたどっており、一番最初は軍とか大会社の幹部が社用のために、定期航空ではなく、自家用機を利用するということから始まり、最近是非常に多くの会社及び官庁幹部が自家用機を使って用件をはたすという傾向が顕著になりつつあります。



アメリカでアイゼンハワー大統領が将来の航空機の需要調査をやった結果によりまして、将来もっとも伸びる航空機とは、自家用機(ビジネス・プレーンとか、エグゼクティブ・プレーンとかいう名前が出ております)、この機種であるといわれております。これには非常に安いものから高いものまでいろいろございまして、ここにその 2, 3 の例を書いてあります。これは現在安い自家用飛行機として、自動車のかわりに、しかし自動車よりは長距離に使われる自家用機、セスナ 172、巡航速度 210 km 前後、値段も 9800 ドル、1 万ドル前後の非常に安い自家用機であります。現在たくさん使われております。

次の機種も非常に余計使われておりますが、双発のエロアコマンダーという機体、これは巡航速度が約 400 km、価格が 11 万 3500 ドルという程度の航空機であります。

さらに新しいものとしてはジェット・エンジンを使った自家用飛行機が出つつありますが、この中にも高価のものと安価のものいろいろございまして、これはプロペラ機よりはやや高く、ジェット機としては中ぐらいのところ。まだできてないが近い将来売出そうという目的で発表した。同じ会社のジェット・コマンダー、時速 850 km、値段はよくわかりませんが、ここには 56



万ドルというふうに書いてございます。

一番高級に属するのが、ジェット・スター。これはロッキード社で現在製作中のものでございまして、アメリカでも重役とか、大会社の幹部が利用するために使う相当ぜいたくなものであります。これはジェット旅客機と同じぐらいの速度をもっていて、必要なときに、必要なところに直接飛んで行けるという利点があるとされています。値段は非常に高く130万ドル。こういう各種の自家用飛行機が盛んに使われつつあります。

ついでに書いておきましたが、将来の音速の3倍で飛ぶ超音速飛行機のひとつの設計例と原子力航空機で雑誌に出たものの引用です。又航空機のもうひとつの方向として、最初は重要な人物の輸送からスタートしましたが、次に一般従業員を運ぶという方向に行き、次の段階として、貨物を運ぶという傾向になりつつあります。これは普通大型の機体であります。将来カーゴ・プレーンという形式が相当実用されるのではないかと考えております。

以上概略でございしますが、航空機の趨勢について申し上げて見ました。全体をつくすには非常に時間もかかりますので、その中で主なもの2,3についてお話しした次第でございします。

さてこれから、航空機工業に応用されているOR作業ということになりますと、だんだん私の話はあやしくなってきます。

ORは最初軍事用の要請から出たように聞いております。そういう歴史もあり、航空機関係にはシステム・デザインをやるときをはじめとして非常に利用されております。



厳密にORと申し上げていかどうかわかりませんが、こういう作業の中にはORが含まれておるといふ例を申し上げます。

第1の例としまして、防空システムのデザインというものをあげてみます。

昔は新しい航空機を計画する場合、所謂性能のいいもの、たとえば従来の飛行機よりもさらにスピードが速くて、航続距離の長い、航空機を計画すればいいというふう考えられておりました。ところが現在の防空システムは非常に複雑でございまして、航空機だけが非常にいい性能であっても、十分防空の目的を達することができないのであります。

たとえばここに敵の爆撃機が侵入しようとしている。これをいかにして防衛するかというシス

テムを考えてみますと、まず一番最初にアーリーウォーニングシステムというのがあって、敵機を電波でキャッチする。その電波でキャッチした情報に基づいて行動する戦闘機が基地に配置される。この戦闘機には、普通ミサイルが積んであります。又情報によって、地上における電波による戦闘機の管制システムがございます。GCI(Ground Controlled Intercept)システムとも呼んでおります。たとえば邀撃戦闘機を飛び立たせますと飛び立たせた戦闘機はターゲットになっている爆撃機を自分の目で見ることができないし、電波でキャッチすることもできないので、地上を出てからある距離までは GCI のコントロール下で行動します。ターゲット迄ある距離に近づきますと、機上にもっているレーダーでターゲットを捕捉するわけですが、ターゲット捕捉後は自分の計器で接近し、ある距離になるとミサイルを発射します。するとある確率で敵を撃墜することができるわけですが、100% 撃墜できなかった場合は次の段階として、基地にある防空用の迎撃ミサイルの発射とか、さらにもれてきたものを高射砲その他で迎撃するというふうに、3段階構えになっている。しかも全体がひとつのシステムとして防空が成り立っているわけでありませぬ。

こういうシステムの場合は、昔のように、性能のいい航空機さえ作ればいいということではなく、全システムに投入される金額がいくらであるかということとを計算して、侵入しようとする敵機をもっとも安い費用で防衛できるシステムはどうなるかという研究が行なわれねばなりません。

非常に性能のいい戦闘機を計画し、生産するためには、開発費とか制作費は非常に高くなる。高くなるけれどもその性能は非常にいいという場合と、むしろ警戒網やグラウンド・コントロール・システムあるいはアーリーウォーニングシステムに金をかけて捕捉率をあげ長距離で敵機を捕捉し、遅い飛行機であっても十分早期にこれを飛び立たせれば、撃墜する確率がかえって大きいという計算結果が出てくる場合もあります。

そこで昔のように単純に航空機は速くて性能さえよければいいというのではなく、アーリーウォーニングシステムとか、戦闘機に積んであるミサイルの性能、あるいは戦闘機が敵機を捕捉するためのレーダーの能力等を組合せた全システムの能力をいろいろの場合について計算して、コストあたりの撃墜率が一番よくなるものを見付けるという膨大な計算が行なわれるわけでありませぬ。

これは非常に膨大な計算になりますが、もっとも経済的に防空システムをやるためには、個々の要素を研究するだけではだめなので、全体をひとつのシステムとして研究しなければならない。又個々の要素についても、たとえば飛行機の性能をどうすれば敵機を捕捉する確率はどうなるかとか、ミサイルの性能をどうすればコストあたりの捕捉確率がどうなるかとか、それぞれ捕捉の確率とか、撃墜の確率というものが計算されますので、各々の要素についても全体としての OR と同様の計算が行なわれなければならないのであります。

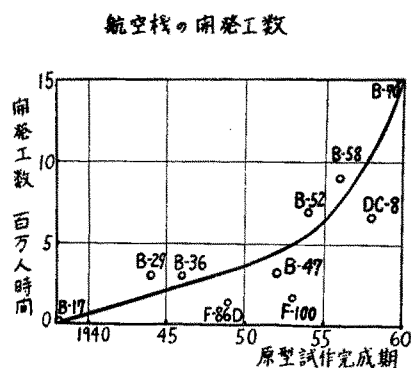
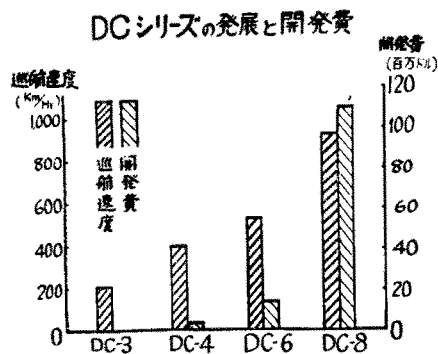
次の例として超音速旅客機の計画をとり上げて見ます。先ほど超音速旅客機が次の研究課題だということをお申し上げしましたが、現在実用になっている輸送機は、大体音速附近即ち時速 900 km 乃至 1000 km で飛行しております。ところが軍用機の方は、既に時速 2000 km の航空機が実用になっております。

旅客機に関しても、仮りに時速 2000 km の旅客機を作ろうと思えば、ある種の研究の追加と、必要な経費を出すことによって、今日でも時速 2000 km の旅客機はできるわけです。ところが時速 2000 km の旅客機を計画するのは、軍用の場合と異り、経済的見地に立って計画しなければなりません。

時速 2000 km の旅客機を作るには、いくらが開発費と製造費が入るかで、かつこの旅客機が何機ぐらい売れるだろうか。又その寿命はどのくらいあるだろうか。現在使用されている、時速 1000 km の旅客機の寿命がいつごろまで続くだろうか。現在の旅客機でも相当の開発費を使って生産されているので、簡単にやめるわけにはいかない。又将来旅客の増加数はどのくらいであろうかというようなことを研究し、さらにこれを飛び越して時速 3000 km の旅客機を開発するにはどのくらいの金の追加があるか。現在まだ軍用機においても時速 3000 km というのはございませんので、更に膨大な開発費がある。しかしやろうと思えばできないことはない、等々のことを考慮しなければなりません。

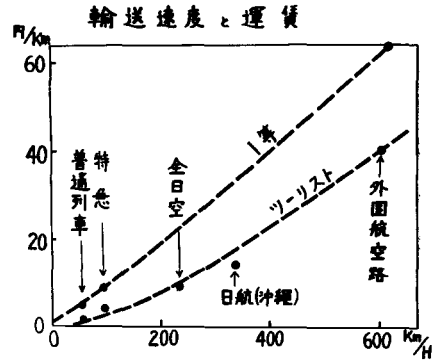
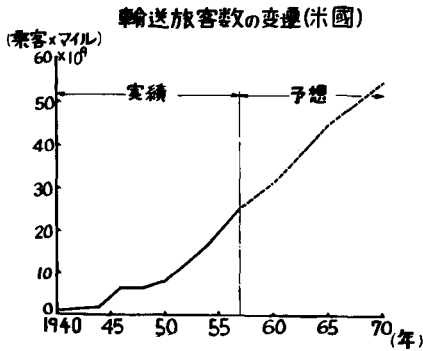
ここにはその場合考えなければならない要素の中から、いくつかのものを、引出して書いてあります。考慮しなければならない要素のひとつとして、速度の速い航空機を開発するには急激に開発費がふえていくということを考えなければならない。

ここに DC—3 の発展と開発という例が書いてあります。DC—3, DC—4, DC—6, DC—8,



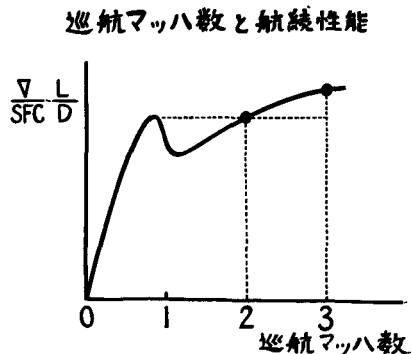
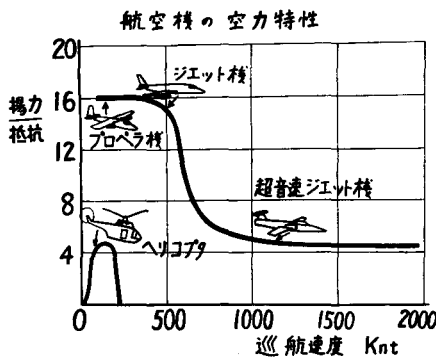
これが現在運行しております。上の左図にしるしてありますのは巡航速度、巡航速度は DC—3, DC—4, DC—6, DC—8 までというふうになっております。現在は DC—8 が使われております、開発費の方は DC—3, DC—4, DC—6 までは大体似たような傾向の飛行機で開発費はあまりいらぬわけですが、DC—8 になりますと、ジェット機に飛躍しますので、400 億から 500 億の開発費がかかっております。現在のジェット旅客機はボーイング 707 にしても、コンベア 808 にしても、ダグラス DC—8 にしても、開発費として 400 億乃至 600 億の金が消費されていて、契約量の約半数までは赤字生産後の半数で開発費を回収し、かつ利益を得る。それ以上に需要がふえれば利益を上げるという事業傾向をたどっております。要するに開発費が非常に高いということが特徴であります。

開発に要する工数が、B-17 爆撃機, B-29, B-36, F-86, F-100, B-47, B-52, DC-1-8, B-58, B-70 の順に所要開発工数がかいてあります。B-70 は音速の3倍の軍用機でございますが、これに予想される工数は 1500 万工数と予想されております。



それから、将来の輸送旅客機はどの位増加するかの予想、1940、1955、1960、1965、1970 というふうに旅客の輸送距離を計算し、将来はこういうふうに伸びていくであろうという値がかいてあります。

一番むずかしい問題は、航空機を経済的に評価する場合の尺度であります。ここに時間の価値をどう金に換算するかというひとつのデータを提供してあります。名古屋から東京まで航空機の運賃はいくら、汽車で行けばいくら、飛行機は高いから経済的に成り立たないという簡単な議論も成り立つが、だんだん経済活動が進んでまいりますと、時は金なりで、時間の価値が非常に大きくなる。しかし時間の経済をいかに貨幣価値に換算するかということは非常にむずかしい。しかしこれがなければ航空機の価値判断はなおむずかしい、ひとつの資料として、この曲線は横軸に輸送機関の速度がとってございます。普通列車の1等と2等、特急の1等と2等、速度がだんだん速くなってきて、全日空の運賃、日航の沖繩線の運賃、外国航路の1等とツーリストの運賃というふうになっております。一体速度向上に対して運賃はいくらとれるだろうか。みんながいくらに判断してくれるかという問題も、将来の超音速の旅客機を設計する上において考慮しなければならない問題であります。



それから、超音速で飛ぶ場合の経済性はどうかということを考えて見ます。飛行機の速度が上ってきて、音速を突破すると、抵抗が急激にふえてまいります。それで飛行に必要なエンジンの馬力が非常に大きくなる。つまり音速を越すと、空気力学的に悪くなるわけです。しかし飛行機を飛ばす燃料消費量は少ないほどいい、速度は速い方がいい、抵抗あたりの馬力、重量あたりの所要馬力が少ないほどいい。結局飛行機を飛ばすときの費用は、速度燃料消費量と揚力抵抗をかけたあわせたものがひとつの判断の資料になる。

こういうものを出してみますと、現在使用されている旅客機の 900 km 前後というところは非常に効率がいいということがわかります。即ち現在のジェット旅客機は非常に効率のいいところで飛んでいるということになります。

となるが更に速度を上げて行き、音速を越すと急に経済性が悪くなってくる。しかし更に速度を上げてきますと、音速の 2 倍ぐらいの飛行速度で、大抵現在のジェット旅客機と同じぐらいの経済性が出てくる。さらに速度を上げて、音速の 3 倍で飛んだらどうかというと、音速の 3 倍で飛ぶと経済効率はさらによくなる、という計算結果が出てきます。

そこで次の旅客機を計画する場合、現在巡航速を割合に効率のいい旅客機を運行しているが、音速の 2 倍に上げると経済効率は現在のものに大体匹敵する旅客機が出来る。しかもその速度の旅客機ならば、研究結果も大体整っているから、開発費は比較的安くて済む。しかしこの段階における旅客機はどの位の機数需要があるか、寿命はどのくらいであろうか等のことを全部考えてから実行に移さねばならない。同時に巡航速度を音速の 3 倍まで上げると運行経済はさらによくなる。しかし開発費が非常に高くなる、いつ実現するだろうか、その時の旅客数はどうだろう。又その速度をいくらが皆が買ってくれるかというふうなことを、各種のケースについて比較研究する。結局音速の 3 倍の旅客機、あるいは 2 倍の旅客機というものは、単に技術的にできるからやるとかやらないとか、金があるからやるとかやらないかという問題ではなくて、今いったようなすべての点を考慮した OR 的計算のもとに、1965 年、1970 年、あるいは 1975 年ごろに、音速の何倍の航空機を何機ぐらい、いくらぐらいの金を使ってやったら一番損失の可能性が少なく利益の可能性が多いという計算のもとに開発が進められているというのが実際であります。

現在私のところでは中型旅客機というものを各社と共同でやっておりますが、音速の 2 倍もしくは 3 倍の旅客機は計画しておりません。これはアメリカその他でやっていることで、私のところでやっているわけではないのです。

次は末端の工場で行なわれている OR の実例を 2, 3 申し上げてみます。

まず第 1 の例は、私の方で現実に実施した OR スタディで工具管理システムの例。従来消耗工具に関しては、現場が所要量を立案して購入依頼を治工具課に出し、治工具課でさらに資材課に購入要求を出すという方法でやっていましたが、各段階がいずれも安全サイドに発注するというようになって、在庫量が増大して費用がふえた。にもかかわらずメーカーからは適切なものが適切なときに納入されなかったもので、不用のものが多量にたまり、ほしいものは間に合わない

いう実情にあった。この問題を約2ヵ月間オペレーションズ・リサーチをやった結果、工具の発注担当者が、過去の工具の消耗実績をもとにした、OR スタディによって自動的に発注量を決定し、発注時期と発注量をそこで定めることができるようになり、非常に工具管理がうまくいくようになったという実例であります。

次の例は、1 昨年伊勢湾台風で、工場全体が冠水しまして、多くの機械が使用不能の状況になった場合の例であります。私の方では普通薄板の工作を主としてやっておりますので、その薄板に鋏を打つとき皿出しということをやります。鋏の頭が表に出ないような鋏を打たなければならない。そのために板をちょっとへこましたり鋏の頭の部分を削りとったりしてフラットな鋏を打たなければならない。その凹みを作る機械をディンプリングマシンといっております。これが8台あったものが全部冠水した。この機械は全部外国からの輸入品でありますので、方々修理を頼んでみたがなかなか埒があかない。早速輸入しなければいけないということになった。ところがこれを OR グループの手に移していろいろ研究した結果、うち1台だけ使用可能の状況にあったが、作業の分布状況とか、その必要時期とかいうものを考慮した結果(台風は9月の終りでしたが)、まずさしあたり1台を使い、そして2台を12月までに修理できるならば輸入しなくてもいい、従って12月まで輸入手配を待って、2台の修理に全力をあげる。12月になってもできない場合は輸入手配をするという結論が出された。さいわいにして12月になって2台の修理ができたので、輸入しないで済むことになった。

第3の実例は、私のところでは、飛行機を防衛庁へ納入するのに、天候の具合でしばしば飛行試験ができないという場合が出てきます。それで納入が遅れると罰金をとられるという規定がございます。ただ遅れるというだけの問題じゃないわけです。ところが納入遅延の理由が、いろいろ主観的に両者の間で食い違いますので、従来からトラブルの種になっていた。

そこで各年各月の、飛行試験ができそうな天候というものを確率的に割り出して、何月には大体どの位飛行試験のできる日があるということ予測する。従って天気が悪いときには仕事を少し早めに促進しなければ納入ができない。天気がいいという見通しのときには普通でいいというような確率を、OR スタディでやまして、その結果納入が順調にいくようになったのみならず、もしも納入がうまくいなくても、われわれはこういう前提のもとに仕事をやったけれども、今月はうまく天気が確率のようになってくれなかったからという、お客さんの方でもそれはやむを得ないだろうということうまくいくようになった。

このように設計では、個々の要素のみならず、システム全体に関する OR から、今申しあげましたような工場内における問題にも、それぞれ担当者が OR 研究をやってくれておりまして、効果をあげている次第でございます。

果して本日の学会に適切な話だったかどうかわかりませんが、以上で私の話は終らせていただきます。