るようになってきた。このようなメッキのプロセスの確認は、メッキされたノッチ付きテスト・ピースやリングを使ったサステインド・ロード・テスト (sustained load test) により行なう。

メッキ後の塗装も保護皮膜として重要視されてきており、ニトロセルローズ系塗装からエポキシ塗装、ポリウレタン塗装と変わりつつあり、それにつれて塗装

のプロセス・コントロールが厳しく要求されるようになってきている。

参考資料

- 1) David Bruce TREMBLAY: Landing Gear System Analysis, ASD-TR-69-113.
- 2) H.G. CONWAY: Landing Gear Design.

航空機の空気調和装置のすう勢*

Trend in Aircraft Air Conditioning

田 中 宣 次**

Nobuji TANAKA

1. ま え が き

航空機に使用されている空気調和装置とは、空気を適当な温度および適当な湿度に調整して、操縦室および客室に送り込む装置をいう。

空気調和装置を考える上で、すなわち長所・短所あるいは最適設計について論ずる場合に、どうしても考えなければならない条件として次のようなものがある。

与圧室を有する航空機においては、空気調和方式を比較する場合、与圧との関連性を考慮に入れる必要がある。飛行中、乗員と乗客に新鮮な空気を供給すると同時に与圧室を与圧するためには、空気調和方式のいかんにかかわらず、ある最低限の圧力空気を与圧室に供給する必要がある。

性能について検討する場合には、空気調和装置の入力と出力を正しく評価する必要がある。入力として、航空機のエンジンよりブリード空気 (engine bleed air) を抽出したことによる航空機の推力の低下、熱交換器冷却空気を得るために生じる航空機の抵抗損失、その他空気調和装置に消費される電力等の動力消費が考えられ、出力としては、冷房能力、暖房能力、温度制御性能などが考えられる。

航空機の空気調和装置に現在まで用いられて来た方式を大別すると、熱交換器と冷却タービンによってキャビン供給空気を直接に冷却するエヤ・サイクル (air cycle) とフロンなどの冷媒によってキャビン供給空気を冷却するベーパー・サイクル (vapour cycle) とがある。

エヤ・サイクルの長所は、冷房に必要な空気源は、与圧のための空気源でもあるほどことである。という

のは、飛行高度が高くなればなるほど高差圧の与圧が要求されるが、冷房負荷は小さくなり逆に暖房が必要な場合が生じる。また、高度が低くなればなるほど低差圧の与圧でよいが冷房負荷が大きくなる。このようにエンジン・ブリード空気の圧力エネルギーが有効に利用されることは、航空機の空気調和装置にエヤ・サイクルが適している有力な理由である。これに対してベーパー・サイクルでシステムを構成する場合には、ベーパー・サイクルを運転するのに必要な動力源とは別に与圧に利用できるキャビン供給空気をエンジン・ブリード空気として得るかあるいは別にコンプレッサーを装備して圧力空気を得るかなければならない。

ベーパー・サイクルの最大の利点は、冷媒用コンプレッサーやコンデンサー・ファンを電動式とした場合、地上静止時に電源のみで冷房作用が行なえる点である。

保守、点検、補充等整備上の面では、ベーパー・サイクルは、冷媒を完全に密封する必要があるため、エヤ・サイクルに比較して、本質的に信頼性が低い。

2. エヤ・サイクル空気調和装置の作動

現在航空機に使用されている空気調和装置のほとんどがエヤ・サイクルであるので、以下に中型輸送機に使用されている代表的な装置についてその作動を説明する。第1図にエヤ・サイクル空気調和装置の一例を示す。

空気調和装置の空気源として、エンジンから抽出されたブリード空気を使用されている。本例のブリード空気の圧力は、ある飛行条件で約 $7 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{abs}$ 、温度は約 260°C である。このブリード空気は、圧力調整弁の入口より流入し、一定流量に制御されて一次熱交換器に流入する。ここでラム・エヤ・スクープによって大気より取り入れられた冷却空気によって冷却されクーリング・タービン (cooling turbine) のコンプレッ

*昭和48年9月28日原稿受理

**株式会社 島津製作所

第1図 空気調和装置系統図

サー側に流入し、断熱圧縮されて圧力上昇・温度上昇をともなって二次熱交換器に流入する。この空気は、二次熱交換器により再び冷却されて、クーリング・タービンのタービン側に流入し、断熱膨張によって約0℃の以下の温度まで冷却される。この空気は、通常過飽和であるのでウォーター・セパレーター (water separator) によって余分の水分が除かれる。一方、クーリング・タービン入口からバイパスされたホット・エア (hot air) は、クーリング・タービンの下流でクーリング・タービンから流出したコールド・エア (cold air) と混合される。温度制御回路は、客室および操縦室の温度が温度設定セレクトで指定された温度になるように温度制御弁を作動させ、ホット・エアとコールド・エアの混合比を定める。

上記の過程を経て所望の温度に制御された調和空気が客室および操縦室に供給される。

第2図は、中型輸送機に使用されているクーリング・タービンを、第3図は、熱交換器を示す。また第4図および第5図は、クーリング・タービン、熱交換器、流量制御弁その他制御用バルブを一体にまとめ、リフリジェレーション・ユニット (refrigeration unit) として構成したものである。

第3図 熱交換器

第4図 レフリジレーション・ユニット

第2図 クーリング・タービン

第5図 レフリジレーション・ユニット

第6図 エア・サイクルの諸方式

3. エア・サイクルの諸方式

現在まで用いられて来たエア・サイクル空気調和装置の代表的なものは、a) シンプル・システム (simple system), b) ブートストラップ・システム (bootstrap system) および、c) シンプル・ブートストラップ・システム (simple bootstrap system) である。これらを第6図に示す。

シンプル・システムは、タービンの動力をこれと同軸に取付けたファンによって吸収し、このファンによって熱交換器を通る冷却空気を引出すように構成されている。この方式には、航空機が地上静止中でも熱交換器の冷却空気が自力で得られるという利点があるが、反面地上でのエンジン減速運転時や、APU (auxiliary power unit) のような抽気圧力の低い空気源を用いる場合には、冷却タービンの入口圧力が低いため十分な冷却および空気流量が得られない欠点がある。

ブートストラップ・システムは、タービンの動力を吸収する側をコンプレッサーとし、これによってキャビンへ送り込む空気をいちど圧縮してから二次熱交換器で温度を下げてタービンへ入れるように構成されている。この方式は、抽気圧力が低いときでも有効な冷房能力が得られるが、熱交換器を通る冷却空気を別の手段によって得なければならない。飛行中はラム圧 (ram pressure) によって得られるが、地上静止時は別の独立したファン等が必要である。

なお最近、ブートストラップ・システムが地上冷房のために独立したファンを備えなければならない欠点を補う方式として、シンプル・システムとブートストラップ・システムを一体としたシンプル・ブートスト

ラップ・システムと呼ばれる方法が使用されるようになった。この方式は、タービン、コンプレッサーおよびファンを同一軸上に組込んで構成したもので、地上静止時も熱交換器の冷却空気をこのファンで得ることが出来る。このクーリング・タービンは、タービン、コンプレッサーおよびファンの適切な動力バランスが必要であり、構造も複雑となるので、シンプル・システムおよびブートストラップ・システムに比較して高度な技術が必要とするが、非常に有力な方法と考えられる。

4. 現状と将来

現在航空機に使用されている空気調和系統では、エア・サイクルがその主流を占めている。それは、現在運行されている航空機を調査するとただちに明白となる。たとえば中型以上の輸送機でペーパ・サイクルを採用しているのは DC-8, Convair 880, VC-10 等数機種にすぎない。これはエア・サイクルがペーパ・サイクルに比較して1項で述べた観点から考えて性能、重量、整備等の面で優れていることがはっきりして来たからであろう。旅客機の場合は、地上での空調がどうしても必要であるが、最近では航空機に APU を搭載することが普通となっている。このことから、ペーパ・サイクルはヘリコプターやビジネス機のような小型機においては採用されることが十分考えられるが、中型以上の輸送機においては今後採用されることはほとんどなくなるものと考えられる。

エア・サイクルのうちでシンプル・システムは、主として小型飛行機、戦闘機等に使用されて来た。ごくまれに中型以上の輸送機においても、シンプル・システムが採用されている例もあるが、その大部分は、ブ

ートストラップ・システムが採用されている。これは地上における冷房能力が重視される旅客機においては当然の結果であると考えられる。この方式が採用されている代表的な機種は、DC-9、B-727、である。また3項で述べたように最近になってシンプル・ブートストラップ・システムが採用されている。この方式が使用されている機種は、B-747、DC-10、L-1011 がある。この方式は、大型、中型を問わず小型機にも使用されて行くことが予想される。なお DC-10 に搭載されている米国 Airesearch 社のクーリング・ユニットは、軸受に空気軸受を使用し、問題になりがちな軸受および潤滑の問題を解決している。

超音速機の場合には、高速によりラム空気温度が高くなるため、従来の空気対空気の熱交換器だけではその冷却作用に限界があって、十分な冷房能力が得られない。これを補うために、燃料あるいはキャビン排出空気を冷却空気として利用することを考える必要がある。現に Concorde はこれらのことが考慮されている。

空調調装置の技術進歩の跡を振り返ってみると、短期間に非常な進歩をとげたという印象はない。しかし各構成部品において着実な進歩の跡がみられる。今後同様の進展が考えられる。

航空機用プロペラのすう勢*

Trend in Aircraft Propeller

木 引 敬 一**

Keiichi KIBIKI

最近の情勢

最近のファン・エンジンの進歩によって、中長距離輸送機の推進機関の主流はファン・エンジンになり、プロペラの用途は主として短距離輸送機、軽飛行機、特殊用途機〔CO-IN***、コンパウンド・ヘリコプター (compound helicopter) 等〕に限られるようになった。旅客機などでは、“より早く”“プロペラ機は時代遅れ”といった乗客の要求、心理に呼応して、本来プロペラ機の方が経済的に適しているような短距離区間にもジェット機が使用されるようになってきた。

かかる情勢の中にあって、ターボファンとの対抗上、また、軽量化、整備性の向上といった時代の要請に答えるため種々の試みがなされ、多くの進歩が生まれた。そのいくつかを以下に紹介する。

最近の進歩

1. FRPシェル・スチール・スパー・ブレード (FRP Shell-Steel Spar Blade) 1960 年代初め、V/STOL を主な対象として、大型軽量のプロペラの研究開発が始まり、その結果として第1図に示すような G (Glass) FRP シェル・スチール・スパー・ブレードが開発され、1960年代後半には実用化された。実機採用例としては P-2H、AH-56A、XC-142A などがある。

第1図 FRP シェル・スチール・スパー・ブレード

このブレードの特徴とするところは、

- 1) 軽量—従来のソリッド・アルミ・ブレード (solid aluminum blade) に比べて 15~50% 軽くできると言われている。
- 2) フェール・セーフ (fail-safe) 構造—強度を受け持つスパーは外部からの損傷に対して保護されている。
- 3) 整備性—FRP シェルの局所的な損傷はパッチを当てるだけで修理ができる。また、修理による重量変化がわずかなため、再バランスの必要がなく、プロペラを機体に装着したままで修理ができる。

またブレード重量が軽いため、ブレード単体のアンバランスを小さくおさえることができ、ブレード交換によるプロペラのバランス作業が不要である。より一層の軽量化を図るため、C (Carbon) FRP シェル・チタニウム・スパー・ブレードが現在試作の段階にあ

*昭和 48 年 12 月 21 日原稿受理

**住友精密工業株式会社

***Counter Insurgence の略; 内乱鎮圧用という意味。具体的にはベトナム戦で使われた OV-10 等の対ゲリラ戦用の航空機をさす。