その主要部分について考察するとつぎのような傾向がうえる。

6.1 圧力センサ DADC 用圧力センサとしては、従来の力平衡式センサに代わって、高安定材料を用いて直接デジタル出力を得る単純変位形、高分解能センサが実用化されつつある。

6.2 計算方式 非破壊 ROM (Read-Only Memory) を主記憶素子として用いたデジタル方式が一般的となる。

6.3 アナログ-デジタル (A-D) 変換およびデジタル-アナログ (D-A) 変換 入・出力回路に D-A,

A-D 変換器をそれぞれ1個もち時分割で共通に使う。

6.4 静圧検出誤差の補正 ソフトウェア・プログラムブルである。PROM (Programmable Read-Only Memory) などで補正量はあとから変えられるようにする。

6.5 信頼性 高信頼度設計がなされ、MTBF (Mean Time Between Failure) 3,000~5,000 時間のものが現われつつある。

6.6 精度 高精度、高分解能のものがつくられており、sea level で分解能 0.1 ft、精度 ± 10 ft のものが得られている。

航空機用脚のすう勢*

Trend in Aircraft Landing Gear

渡 辺 満 寿 美**

Masumi WATANABE

1. 航空機用降着装置システムについて

航空機用脚のすう勢について述べるにあたり、まず航空機用降着装置システムについて機能およびその構成をまとめる。

航空機用降着装置の機能を分類すると、①緩衝および支持 (landing impact and support)、②方向制御 (directional control)、③速度制御 (velocity control)、④脚位置決め (gear positioning)、⑤フロートション (flotation)、⑥グラウンド・メインテナンス (ground maintenance) に大別される。これらの機能を発揮するために降着装置システムは、次の構成品より成り立っている。すなわち、タイヤ、ホイール、ブレーキ、ブレーキ・コントロール・システム、ショック・アブソーバ (shock absorber)、ランディングギヤストラ

クチャー (landing gear structures)、ステアリング、アクチュエータである。一方降着装置システムの性能に影響を与える外的要素としてはランウエイ、アレステイング・フック (arresting hook)、補助装置 (auxiliary device) 不要フラップ、スポイラ、ドラッグ・シュート等)、エンジン、AGE 等である。以上のシステム機能と構成品および外的要素を表示し、たがいに関係を有するものに×印をつけると第1表の如くなる。

機能①の緩衝および支持は、荷重の種類と大きさが異なるのみで原理的には同種のものと考えてよい。この機能に関係するコンポーネントとしてタイヤ、ホイール、ショックアブゾーバー、ストラクチャが直接のロード・パスとなる。ランウエイの状況は衝撃荷重 (landing impact load) (スピン・アップおよびスプリングバック荷重) に影響を与える。機体の沈下速度、

第1表 Landing Gear Component と機能分類

機能分類 \ Components	Tire	Wheel	Brake	Brake Control	Shock Absorber	Landing Gear Structure	Steering	Runway	Arrestor and Hook	Auxiliary Devices	Environment	Actuator	Engine	AGE
Landing Impact and Support	×	×			×	×		×		×	×			×
Directional Control	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	×	
Velocity Control	×	×	×	×		×		×	×	×	×		×	
Gear Positioning					×	×	×				×	×		×
Flotation	×	×						×			×			
Ground Maintenance	×	×	×		×	×		×	×		×	×		×

*昭和48年12月21日原稿受理

**住友精密工業株式会社

進入速度、揚力等着陸衝撃に直結する要素は補助装置すなわちフラップ、スポイラ、スラット等の空力装置 (aerodynamic device) によって決まる。環境 (environment) はランウェイの表面状況を決める要素となる。また、静的支持 (static support) に対して AGE (ground equipment) がサポートメンバとして加わる。ジャッキ (jack) やダウン・ロック安全ピン (down lock safety pin) がこれらに含められる。

機能②の方向制御は、ステアリング、タクシング、テイク・オフ等の地上走行機能であり、タイヤ、ホイールはもちろんブレーキ、ロード・パスとしてショック・アブゾーバ、脚ストラクチャが関与する。また地上走行性能にはランウェイ環境が関係、走行速度には補助装置、エンジンが関係、ステアリング・パワーとしてアクチュエータが使用されるのが普通である。

機能③の速度制御では、ロード・パスとしてのコンポーネントとブレーキ力に影響を与えるランウェイ、環境条件、機速に影響を与える補助装置、エンジンが関与する。

機能④の脚位置決めは脚下げ、脚上げ、ニーリング (kneeling) 等に分けられる。環境は脚下げおよび脚上げ中のエア・ドラッグの様相を決める。ニーリングの必要性は、長胴の大型貨物機で見られ、通常 GSE で操作される。

機能⑤のフローテーションは、ホイール・ロードと関連してタイヤの接地面積とその分布およびランウェイ強度によって決められる。スキー (skiing) はフローテーションの特別な場合として扱われる。

機能⑥のグラウンド・メンテナンス、トーイング、タイ・ダウン、ジャッキングおよびサービス (servicing) 一般に関連するものである。

以上述べた各種機能を満すべく与えられた外的要素を考慮して降着装置システムをまとめて行くわけであるが、各機能とコンポーネントをさらに細分化して、コンポーネントの役割やフェイリュア・モード、隣接コンポーネント相互の関係を表示しながらシステムの機能と構成を解析すると便利である。

ここでは、降着装置システムのうち主としてショック・アブゾーバと脚ストラクチャの最近のすう勢についてその概略を述べる。

2. 脚組の形式と車輪静荷重

ショック・スラットおよび脚ストラクチャによりいわゆる脚組が構成される。最近では降着装置の配置は、前三車輪形式またはその変形が主流を占めており、前輪および主輪の配置が決ると、胴体または主翼構造と降着装置の揚降方式を考え合わせて、降着装置

取付点と脚組型式を決定するのが通常である。揚降方式は脚柱の前方上げ、後方上げ、横上げおよびそれにボギー・ビームの脚柱に対する回転や、車輪タイヤのひねり上げが加わる形式が多い。いずれにしる脚組は各航空機特有の事情において限られたスペースの中に効率よく格納されるよう決められるものであり、その形式は各機体特有のものとなる。脚組みの実機例を第1図に示す。

機体の重量が増加するにつれて、脚車輪もシングルからデュアル (dual)、デュアル・タンデム (dual tandem)、マルチデュアル・タンデム (multi-dual tandem) と数を増して行く。しかしフローテーションに対しては、車輪数だけ増してもそれに比例した機体重量を期待することはできない。タイヤがたがいに接近しているためである。このことは旧 SIWL 方式 (Single Isolated Wheel Load) でデュアル; 機体重量 $\times 0.35$, デュアル・タンデム; 機体重量 $\times 0.22$ として評価されていることから明らかである。最近の大型航空機の主脚単車輪静荷重は、本格的空港を使用するとしても約20トンまでになっているようであり、米軍の C-5A のように300トンを超えるような大型機で単主車輪荷重が15ton 未満になっているのはハイ・グラウンド・フローテーションを特徴としたものと考えてよく多数の車輪を有する降着装置を格納する

第1-1図 F-27 主脚組

第 1-2 図 H.S.A. Vulcan 主脚組

ために特に工夫がこらされている。

3. ショック・アブソーバー

航空機の形態が変わっても、着陸垂直衝撃荷重を吸収し、地上走行操作を容易にする必要性は変わらない。その要求を満たす最も普通の形は、ショック・アブソーバーを有する脚組にホイール、タイヤを装着したものである。航空機側ではなく、地上にショック・アブソーピング・システムを設けるという考え方は未だ実用化されようとはしていない。

降着装置に使用されるショック・アブソーバは、エア・オイル (air-oil) 形式 (オレオ・ニューマチック) が主流を占めている。リキッド・スプリング形式は小型軽量とされているが、英国 Dowty 社で開発されたこともあって英国機 Vulcan や Canberra 等に採用されており、米国 Lockheed F-104 主脚に使用されたため国産 (米国 CPT 社・住友精密) の実績がある。最近では英国 Harrier 機の前脚に使用されている。リキッド・スプリングの超高压シールの耐久

性が向上すれば、アーティキュレーテッド・タイプ (articulated type) の脚に今後さらに採用されて行くものと考えられる。

ショット・ストラットが脚組として使用される方式として、ストラット・タイプ、アーティキュレーテッド・タイプおよびそれらの中間型であるセミアーティキュレーテッド・タイプに分類できる。高翼機の胴体内格納降着装置では、脚出し時張り出し形となり、複雑なひねり運動を伴う揚降方式を採用する場合があって、アーティキュレーテッド・タイプを採用する。また航空機の使用滑走路面状況によっては、ドラッグ・ロードによるショック・アブソーバー・ベアリング・フリクションがストラット・タイプ・アブソーバーの縮み運動に相当大きな影響を与えると考えられる場合は、アーティキュレーテッド・タイプが採用される。米国では主要大型機にはストラット・タイプが使用されている場合が多い。

エア・オイル式ショック・アブソーバーでは気体圧縮荷重対ストロークの関係が、脚の静荷重特性を表わ

第2図 ショック・アブソーバ装着タイプ

第3図 Load-Stroke 静特性

すことになる。第3図の2ステップ特性は、前脚のブレーキ条件がクリティカルになる場合や、ラフ・ランウェイ・タクシー条件がクリティカルになる場合に採用され、ヨーロッパの航空機で見られる場合があるが、内部の構造が複雑になり、米国では1ステップ特性を

採用している場合が多い。左右主脚間隔が十分とれない胴体格納型式の主脚地上静止位置は、80-95%ストローク・ポイントにあり、高圧縮比の空気特性を有し、地上滑走時のばね定数は高い。なおストローク量の実機例を第4図に示す。使用する気体は通常 N_2 ガ

第4図 脚柱ストロークの実機例

スで、オイルは作動油 MIL-H-5606 である。エア・オイル式ショック・アブゾーバーに使用されるシールは、O-リングまたは D-リングとバックアップ・リングの組合わせが最も普通であるが、最近では G-T リングが使用され出した。（リング形状は第2図参照）、乾燥状態になっているピストン作動面に対して、G-T リングはスパイラル・フェイリュア（spiral failure）を起こさぬ十分な剛性を有すると云われている。

大型貨物機の脚は、ニーリング装置として使用されている。

4. 脚ストラクチャ

脚ストラクチャとしては、ストラット・タイプの脚ではアクスル、トルク・リンク、ブレース、トラニオン、ロック等があげられ、アーティキュレーテッド・タイプの脚では、アクスル、スウィング・レバー、レグ、ブレース、ロック等があげられる。ショック・アブゾーバーとこれらのストラクチャは、脚組みとして下げ位置でダウン・ロックされ、その状態で上下、前後および横方向荷重を受ける。ダウン・ロックは(1)ストラットまたはレグを直接機体構造にロックする。(2)ブレース折れ曲り点でロックする。(3)揚降シリンダ内部でロックする、のが代表的な方法である。脚下げ油圧系統が故障した場合に脚をフル・ダウンさせてかつダウン・ロックさせるための機構を有する。

ショック・アブゾーバーおよび脚ストラクチャの材料は鋼が大勢を占める。鋼は重量軽減と小型化を計るため、剛性に問題を起こさない範囲で抗張力レベルを上げて使用される。最近では低合金鋼（low alloy steel）として 220-240 ksi, 260-280 ksi, 270-300 ksi 等の高抗張力レベルで一般に使用されるようになった。第2表に Douglas 社の例を含み各機体脚主要鋼材料と抗張力レベルを示す。これらの脚は実機装置着後のメンテナンスに細心の注意が払われなければな

第2表 代表的鋼種と熱処理レベル

熱処理レベル	鋼 種	*Douglas L/G の場合
220-240 ksi	4330 M, D6 AC, HY-TUF*	DC-9
260-280 "	4340*	DC-8
280-300 "	300 M*, 98 BV 40 Mod	DC-10

らない。

材料の抗張力レベルを上げれば、低いときにはあまり問題にならなかった表面の微少な欠陥やキズの存在、変質層、残留応力、腐蝕、内部の非金属介在物の存在等が極めて敏感に効てくる。一般に low alloy steel で抗張力レベルを上げるには焼戻温度を低くすればよいが(1)じん性、特にトランスバース方向の機械的性質。(2)クラックの存在下における強度、(3)水素ぜい性感度、(4)疲労限の抗張力に対する割合等が問題になってくる。これらの問題点に対しては、(1)新鋼種の開発、(2)真空溶解製鋼法の採用、(3)低水素ぜいメッキ法の開発、(4)脱炭層の制限、残留応力の除去、熱処理の適切な管理、熱処理後の適切な加工管理等の生産技術上の配慮により解決されつつあり現在に至っている。ハイ・ニッケル合金（high Ni alloy）のマルエージング鋼は優れた性質を有するがコストの点で問題があり未だ一般的に脚材料として使用されていない。

アルミ合金では 7075 T 73 のような応力腐蝕に鈍感なものに限って使用する傾向にある。地上静止時に引張り、曲げ応力がかかる場合や、組立応力の残る場合は十分注意する必要がある。

腐蝕は機能強度を低下させ、ぜい性破壊、応力腐蝕破壊を誘発するものであり、強度的にクリティカルなストラクチャでは問題が大きい。脚ストラクチャ間の固定結合部の腐蝕問題は特に深刻である。ジョイント・ラグ孔部には、回転運動のない固定部でもフランジ付きブッシュを使用する。腐蝕部のリペアに対するコストは相当なものであり、ジョイント・ラグではサルベージ・マージン（salvage margin）を見込むとともにラグのフェーイング・サーフェイス（faying surface）にはクロム・メッキを行う等の対策を最初の設計段階から行うようになって来た。

鋼部品に対する最も一般的な耐蝕のための表面処理は、カドミウム・メッキである。高抗張力鋼には耐蝕性が良好で水素脆性の心配の少ないメッキが望める。真空蒸着メッキは、電気メッキとは異なり水素がメッキ作業のときに浸入しないのでメッキによる水素ぜい性は皆無であるがメッキ皮膜強度は弱い。最近ではタニウム・カドミウムメッキのように厳しいメッキ液の管理とメッキ後のベーキングによって水素ぜい性の心配が少なくかつメッキ皮膜の強いメッキが採用され

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